

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería de Tecnologías Industriales

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Miguel Ángel López López

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Autor:

Antonio Pineda Márquez

Tutores:

María Gloria del Río Cidoncha

Profesor titular

Miguel Ángel López López

Cotutor

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez
Tutores: María del Río Cidoncha
Miguel Ángel López López

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

A mis padres

A mis amigos

Agradecimientos

A mis padres, expresearles mi profundo agradecimiento por no dejar de apostar en mi, por ser mi mayor apoyo en todo momento y, en definitiva, por haberme transmitido unos valores de los que tan orgulloso me siento y que me han hecho ser la persona que soy.

A mis amigos, a los que llevo conmigo desde la infancia y a los que he tenido el placer de conocer en esta maravillosa etapa que hemos vivido juntos. Gracias por tantos buenos momentos y por los que nos quedan.

Por último, a la ciudad de Sevilla, con la que he creado un vínculo para toda la vida y en la que he podido crear los mejores recuerdos que tengo.

Antonio Pineda Márquez
Sevilla, 2021

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado (TFG) desarrolla el proyecto constructivo de una capilla mediante la metodología BIM, consistiendo este en el modelado, cálculo y análisis de su estructura. Previamente se ha realizado el estudio de dicha metodología en la que se destaca sus aportaciones novedosas, así como el proceso de implementación en el que todavía se encuentra dentro del sector de la construcción.

El cálculo necesario para el diseño de la estructura se ha realizado siguiendo el Documento Básico de Seguridad Estructural, recogido dentro del Código Técnico de la Edificación, el cual tiene por objeto establecer las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural.

Para el modelado y análisis se hace uso de los softwares Revit y Robot respectivamente, ambos de la compañía Autodesk, Inc.

El proyecto se divide en cuatro partes fundamentales: una Memoria Descriptiva, en la que se expone la metodología y los distintos elementos de los que se compone la construcción; una Memoria de Cálculo Estructural, basada el Documento Básico mencionado; una Memoria de Modelado, donde se explica el proceso que se ha realizado con los dos softwares; y, por último, los planos finales de la estructura.

Abstract

This Final Degree Project (FDP) develops the construction project of a chapel using the BIM methodology, consisting it of the modeling, calculation and analysis of this structure. Previously, a study of this methodology has been carried out, highlighting its innovative contributions, as well as the implementation process in which it is still within the construction sector.

The necessary calculation for the design has been made following the Basic Document of Structural Safety, included in the Technical Building Code, which aims to establish the rules and procedures that allow meeting the basic requirements of structural safety.

For modeling and analysis, Revit and Robot software are used respectively, both from Autodesk, Inc.

The project is divided into four fundamental parts: a Descriptive Report, in which the methodology and the different elements that make up the construction are exposed; a Structural Calculation Report, based on the aforementioned Basic Document; a Modeling Report, where the process that has been carried out with the two software it is explained, and finally, the final planes of the structure.

Índice

<i>Agradecimientos</i>	<i>ix</i>
<i>Resumen</i>	<i>xi</i>
<i>Abstract</i>	<i>xiii</i>
<i>Índice</i>	<i>xv</i>
<i>Documento 1 - Memoria Descriptiva</i>	<i>D1</i>
<i>Documento 2 - Memoria de Cálculo Estructural</i>	<i>D2</i>
<i>Documento 3 - Memoria del Modelado</i>	<i>D3</i>
<i>Documento 4 - Planos</i>	<i>D4</i>

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

PARTE I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Miguel Ángel López López

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Índice de Contenido

Índice de Contenido	iii
Índice de Figuras	v
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Objetivos y alcance	1
1.3 Antecedentes	2
1.3.1 ¿Qué es BIM?	2
1.3.2 Evolución de BIM hasta nuestros días	3
1.3.3 Niveles de Detalle y Niveles de Desarrollo	3
1.3.4 Ventajas e inconvenientes del uso de BIM	5
1.3.5 Panorama actual de BIM	7
2 Descripción del modelo a construir	9
2.1 Localización y emplazamiento	9
2.2 Dimensiones de la estructura	10
2.2.1 Zona 1: Altar	11
2.2.2 Zona 2: Bancos	11
2.2.3 Zona 3: Entrada	11
2.3 Composición Estructural	11
2.3.1 Características principales	12
2.3.2 Propuesta de materiales de los elementos estructurales	12
2.3.3 Perfiles metálicos	13
2.3.4 Cerramientos exteriores	13
2.3.5 Tabiquería	14
2.3.6 Forjados	14
2.3.7 Cubiertas	15
2.3.8 Acabados	16
2.4 Distribución de pilares	17
2.5 Cimentación	18
Referencias	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 – Ciclo de vida de una construcción mediante BIM	3
Ilustración 2 – Representación niveles de detalles	4
Ilustración 3 – Representación niveles de desarrollo	4
Ilustración 4 – Entorno 7D de BIM	6
Ilustración 5 – Comparación de la duración de las etapas en BIM y CAD	6
Ilustración 6 – Comparación de los impactos generados por los cambios en BIM y CAD	7
Ilustración 7 – Localización de la parcela (abajo a la derecha)	9
Ilustración 8 – Zona de la parcela donde se ubicará la capilla	10
Ilustración 9 – Esquema de la capilla	11
Ilustración 10 – Perfil IPN	13
Ilustración 11 – Bovedilla de cerámica	15
Ilustración 12 – Cubierta Deck Roockwool	15
Ilustración 13 – Distribución de pilares	17

1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza una breve descripción sobre la finalidad del trabajo, el porqué de su elección y el desarrollo que se ha planteado para su ejecución, iniciando a su vez al lector en la novedosa tecnología BIM en la cual se basa el proyecto. Se realiza también una descripción acerca de la construcción y de los elementos que la componen.

1.1 Motivación

En el mundo actual en el que vivimos existe una continua evolución y desarrollo dentro de todos los ámbitos profesionales, donde cada día se puede observar algo que hasta hace poco se consideraba novedoso pasar a ser sustituido por una herramienta aun más avanzada.

Sin ser menos, el sector de la construcción también se ha visto influenciado por la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, permitiendo optimizar la calidad de los proyectos y las obras hasta niveles que antes no se planteaban. La revolución tecnológica de este sector viene de la mano de la metodología BIM, la cual permite realizar una preconstrucción digital completa de un edificio, consiguiendo así reducir errores, riesgos y, por tanto, costes en un proyecto.

Estas características, al igual que otras que se verán más adelante, hacen que BIM sea una forma de trabajo única y completa, proporcionándole a todo aquel que la maneje un valor añadido respecto al resto de personas en el mundo laboral.

1.2 Objetivos y alcance

El objeto principal del presente Trabajo Fin de Grado es el modelado, cálculo y análisis de la estructura de una capilla situada en un colegio de las afueras de la ciudad de Sevilla. El diseño y modelado se realizan partiendo del modelo arquitectónico a través del software Revit. En cuanto el análisis, se ejecuta a partir del software Robot, el cual estará integrado dentro de Revit y viceversa.

Aparte de realizar el modelo y cálculo de la capilla, se considera también como objetivos de este proyecto el conocer la metodología BIM y los programas de su entorno, como aquellos mencionado recientemente, así como aumentar los conocimientos sobre la rama de la construcción, como es el Cálculo Estructural entre otros.

El alcance del proyecto termina al conseguir estos objetivos, dándose por acabado una vez realizado el modelado, cálculo y análisis de la estructura y, finalmente, su posterior obtención de los planos. Asimismo, hay que decir que el cálculo de la cimentación de la estructura no entra dentro del alcance del trabajo, si bien como se comentará más adelante, se ha realizado una cimentación aproximada a partir de cálculos preliminares, haciendo así el modelo más depurado.

1.3 Antecedentes

En este apartado se explica el concepto BIM y su desarrollo en el tiempo hasta la actualidad. Se incluye también los distintos niveles de definición que puede llegar a alcanzar y una contraposición de ideas positivas y negativas de su uso, subrayando así los beneficios que aporta este método de trabajo, el cual hasta no hace mucho era desconocido para la gran mayoría.

1.3.1 ¿Qué es BIM?

La concepción de BIM es distinta para muchas personas. Algunas piensan que es un software y, a pesar de que el software es una parte de este, no termina de ser cierto. Otras piensan que es una forma de modelar en 3D una construcción, lo cual es correcto, pero esto es sólo una parte de toda una variedad de posibilidades que nos ofrece.

El acrónimo BIM corresponde a Building Information Modeling y la definición que aparece en la plataforma de implementación de BIM en España es la siguiente:

Una metodología de trabajo colaborativo para la gestión de proyectos de edificación u obra civil a través de una maqueta digital. Esta maqueta digital conforma una gran base de datos que permite gestionar los elementos que forman parte de la infraestructura durante todo el ciclo de la vida de ésta.

Para una mayor interpretación del concepto de BIM se añade una segunda definición con carácter conceptual:

- **Building:** la traducción literal es *edificio* o *construcción*, pero el concepto que engloba esta metodología es más general. Dicho concepto está orientado hacia el proceso que se realiza en cualquier obra civil, hablando desde un punto de vista dentro del contexto de la cultura colaborativa y de la práctica integrada, es decir, que abarca el proceso completo de obra desde la concepción de una idea, pasando por su vida útil y hasta el final de ella, donde se tiene en cuenta a todos los factores y agentes que contribuyen en su materialización y en su mantenimiento.
- **Information:** la traducción literal es *información* y, en este caso, si se corresponde al concepto que se quiere transmitir. BIM establece un flujo transversal entre todos los agentes que intervienen en el proceso completo de la edificación, permitiendo así que el proyecto sea una base de datos con toda la información de este.
- **Modeling:** la traducción literal es *modelado*. Es un concepto acertado, ya que en BIM se trabaja con el modelado en 3D y, aunque lo más lógico sea pensar en el modelo geométrico, hay muchos más tipos, como puede ser el estructural, el arquitectónico o el MEP, entre otros. La M del acrónimo BIM también se dice estar relacionada con el concepto de *Management*, cuya traducción es *administración*. Esto hace referencia a la idea de un proyecto como la suma de informaciones desde el punto de vista de la gestión y coordinación de estas.

El BIM, por tanto, es un método de trabajo colaborativo que tiene como objetivo la creación de un modelo virtual que incluye toda la información relevante de la edificación, facilitando así su gestión a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su concepción, durante su construcción y toda su vida útil y, finalmente, hasta su demolición.

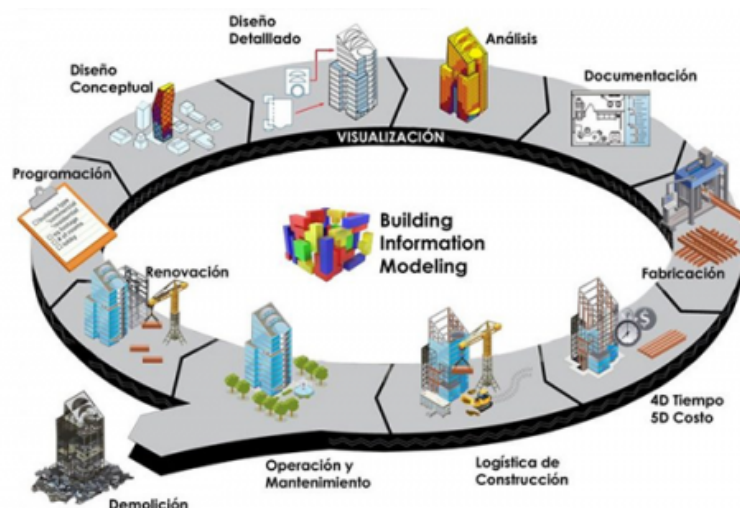


Ilustración 1 – Ciclo de vida de una construcción mediante BIM

1.3.2 Evolución de BIM hasta nuestros días

Para terminar de comprender el alcance del método BIM hay que entender su evolución a lo largo del tiempo. Para ello hay que retrotraerse al año 1974 en la que se publica el primer trabajo relacionada con este. Fue el profesor Charles M. Eastman quien hizo la primera descripción de un modelo virtual de un edificio en su famosa publicación “An Outline of the Building Description System”. Esto hizo que posteriormente se comenzara con la investigación sobre el BIM y se abriera un nuevo escenario para la industria de la construcción.

No fue hasta 1984 cuando se creó el primer programa BIM. Este se llamó ArchiCAD y se considera el primer software de CAD para ordenador personal capaz de crear modelos tanto en 2D como en 3D. Fue desarrollado por la empresa húngara Graphisoft y se lanzó únicamente para ordenadores Apple Lisa.

Cerca de 10 años después se fundó la IAI (International Alliance of Interoperability), que actualmente se conoce como buildingSMART. Esta alianza de países tiene como objetivo mejorar el intercambio de información entre las aplicaciones de software utilizadas en la industria de la construcción. En 1996 publicó la primera versión del modelo de datos IFC (Industry Foundation Classes), destinado a describir datos de la industria arquitectónica, de la edificación y de la construcción, creándose más tarde la posibilidad de compartir e intercambiar modelos, tal y como sucede en BIM.

Poco después, en el año 2000, se lanza la primera versión de Revit y dos años más tarde es comprada por la empresa Autodesk, Inc.

No fue hasta 2007 hasta que se crean las primeras guías que hay que seguir para llevar a cabo un proyecto BIM. A partir de aquí empieza a avanzar la evolución de su implementación en muchos países hasta que, en 2018, se hace finalmente obligatorio su uso en España en proyectos de Licitaciones Públicas de Edificación.

Hoy en día, en múltiples países ya es obligatorio. Además, en numerosas empresas ya cuentan con altos niveles de implementación de BIM en sus proyectos. Esta metodología ha revolucionado la forma de trabajar, mejorando los aspectos del día a día de arquitectos, ingenieros y promotores.

En la actualidad, algunos de los principales usos que se están dando son los Renders y la Realidad Virtual, las simulaciones MEP/Structure o el control de costes y mediciones, entre otros.

1.3.3 Niveles de Detalle y Niveles de Desarrollo

A la hora de modelar un proyecto en BIM hay dos conceptos que es importante conocer. Estos conceptos son realmente dos escalas de información las cuales erróneamente pueden confundirse al interpretarlas:

1.3.3.1 Nivel de Detalle

Esta escala hace referencia a la cantidad de detalle que se incluye en un modelo al presentarlo.

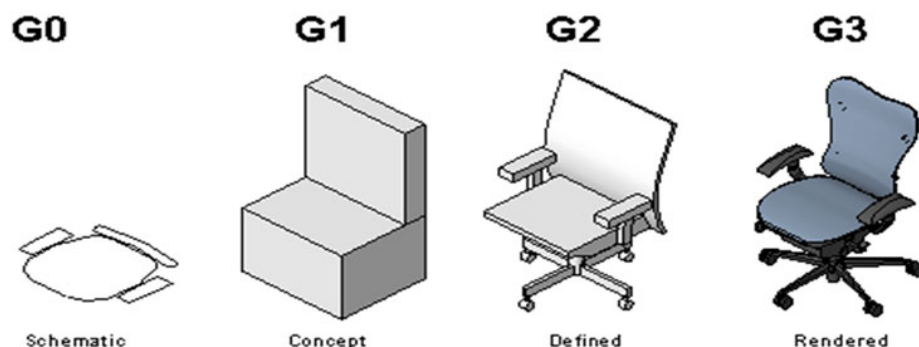


Ilustración 2 – Representación niveles de detalles

Se podría definir también este concepto como el grado estético con el que se presenta un modelo. Por ejemplo, se puede representar un pilar como una línea, siendo este nivel el mínimo, o bien, como un elemento 3D en el que se visualiza su armadura en caso de tenerla, siendo este nivel el máximo. En el modelo analítico, del cual se hablará más adelante, se utiliza un nivel mínimo de detalle, ya que la estética no es importante a la hora del estudio de este modelo, en cambio, si se va a hacer una presentación sobre la estructura de una futura construcción, sí que será importante un nivel de detalle alto.

El máximo grado de detalle es el Render, que es una de las principales técnicas que se realizan ahora mismo con BIM, tal y como se comentó anteriormente. La técnica que lo practica es la renderización y consiste en dar una apariencia realista al modelo 3D desde cualquier perspectiva.

1.3.3.2 Nivel de Desarrollo

A esta escala se le conoce con el acrónimo LOD, del inglés Level Of Development, y se refiere al grado de madurez de información con el que se ha creado un modelo o un elemento de este.



Ilustración 3 – Representación niveles de desarrollo

Otra forma de definir el concepto de LOD, es la de distintos niveles de fiabilidad que los agentes que intervienen en la materialización de un proyecto esperan de la información de la que van a disponer al usar el modelo que se les ha dado. A continuación, se exponen los principales niveles de desarrollo y una breve descripción de cada uno:

- LOD 100: en este nivel sólo se determina la existencia de un elemento o su envolvente. La ubicación es aproximada y la información que se aporta no es determinante.
- LOD 200: el modelo que se representa en este nivel aporta la existencia del elemento junto a las dimensiones aproximadas del mismo y sus unidades. Se admiten distinciones de tipologías, pero no otras informaciones determinantes.

- LOD 300: conforme se avanza de nivel se aporta una mayor información y en este caso se incluyen los materiales, las capas y la apariencia final del elemento.
- LOD 350: aquí por primera vez se puede observar el comportamiento de los elementos en los encuentros.
- LOD 400: para este grado de desarrollo se puede llegar a considerar datos de replanteos, planos de montaje, información relativa a la fabricación e instrucciones para su instalación.
- LOD 500: en este nivel la representación gráfica del elemento es fiel a lo que se debe ejecutar en la realidad. Se incluye información relativa al mantenimiento, fichas técnicas, información comercial y revisiones, entre mucha más información.

En general, la diferencia de estos dos conceptos es la forma de representación del modelo, siendo en el primero de estos un criterio estético en el que la información que se aporta junto a los elementos no varía al cambiar de escala, mientras que en la segunda escala que se ha definido, el nivel de información que se aporta es el mismo criterio en el que se basa, cambiando con este la estética a su vez. Así, el LOD se puede considerar como un *output*, mientras que el nivel de detalle es un *input*.

1.3.4 Ventajas e inconvenientes del uso de BIM

Al igual que con todo tipo de métodos, se pueden encontrar ventajas y desventajas en el uso de BIM, siendo en este caso la lista de inconvenientes mucho menor que la de beneficios.

1.3.4.1 Ventajas

Empezando por las ventajas de esta tecnología:

- Hasta hace no hace mucho, la industria de la construcción contemplaba el diseño en 2D y en 3D de forma independiente, siendo sus objetivos la creación de planos y modelos visuales, respectivamente. BIM consigue unir estas dos dimensiones en un solo modelo, trabajando este con una actualización automática de la información entre todas las partes del modelo. Por ejemplo, si se modifica en un alzado cualquier medida, esta se cambiará automáticamente en todo el proyecto, ya sea en otros planos 2D o en el modelo 3D asociado.
- Haciendo referencia a la ventaja anterior, se destaca también la interoperabilidad de este método. Esto es que, si se modifica algo en un campo del proyecto, por ejemplo, en el modelo arquitectónico, esto se reflejará en el resto de los campos. Lo que se consigue con esto es que no haya pérdidas de información, ya que se trabaja en un único modelo.
- Dentro de esta misma línea de evolución del método de trabajo, destaca la aparición de nuevas magnitudes durante la propia concepción del proyecto, llevando a BIM a situarse en un ambiente de trabajo basado ya no en tres, sino en hasta siete dimensiones. Estas dimensiones no son más que aplicaciones que se desarrollan mediante el empleo de herramientas que se integran en este método de trabajo. La programación y gestión del tiempo lo eleva al entorno 4D. En el siguiente nivel se encuentra el control de costes, el cual se puede considerar uno de los mayores condicionantes a tener en cuenta en un proyecto. La maduración del BIM lo sitúa en el entorno 6D basado en el desarrollo de análisis de sostenibilidad de la estructura respecto al medio ambiente. Por último, el entorno 7D hace referencia a las tareas de Facility Management, las cuales se fundamentan en el mantenimiento de la estructura una vez se ha terminado su construcción.

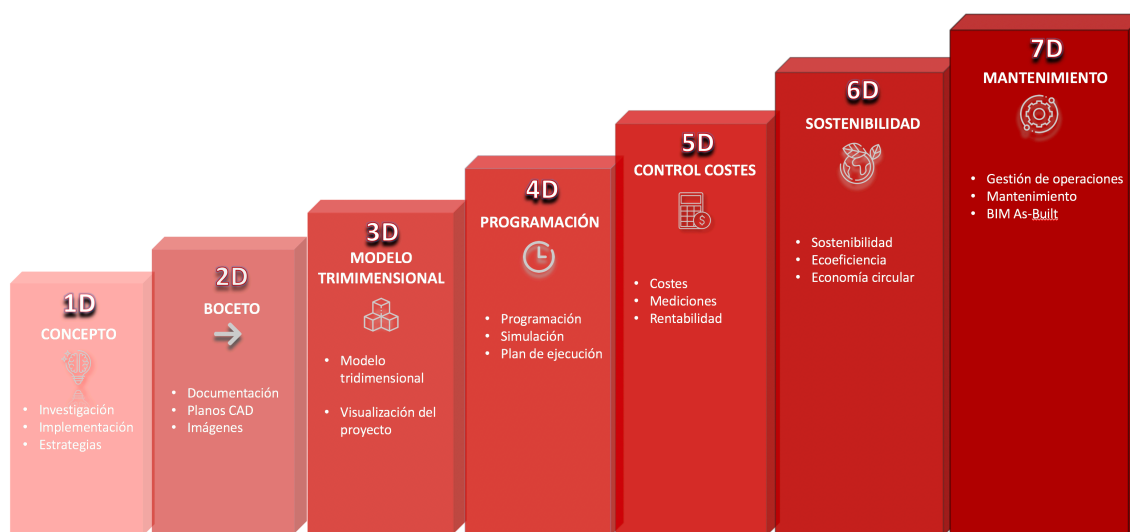


Ilustración 4 – Entorno 7D de BIM

- Aunque se pueden encontrar distintas opiniones, con la llegada del BIM se dice que se ha conseguido una optimización de los tiempos de trabajo. Tal y como se ve en la siguiente ilustración, con BIM se produce un decrecimiento del tiempo desde la etapa de diseño hasta la ejecución del proyecto, mientras que con CAD se empieza consumiendo poco tiempo hasta que se produce un incremento, con forma parecida a la campana de Gauss, y que luego se alarga en tiempo. Esto se traduce a que con el primer método de trabajo se consigue que el proyecto quede menos inconcluso, dejando menos margen a la aparición de errores en la última etapa, mientras que, en el segundo, los errores hacen que se produzcan pausas en búsqueda de soluciones que deriva en una disminución de la productividad y, por tanto, en una pérdida de dinero.

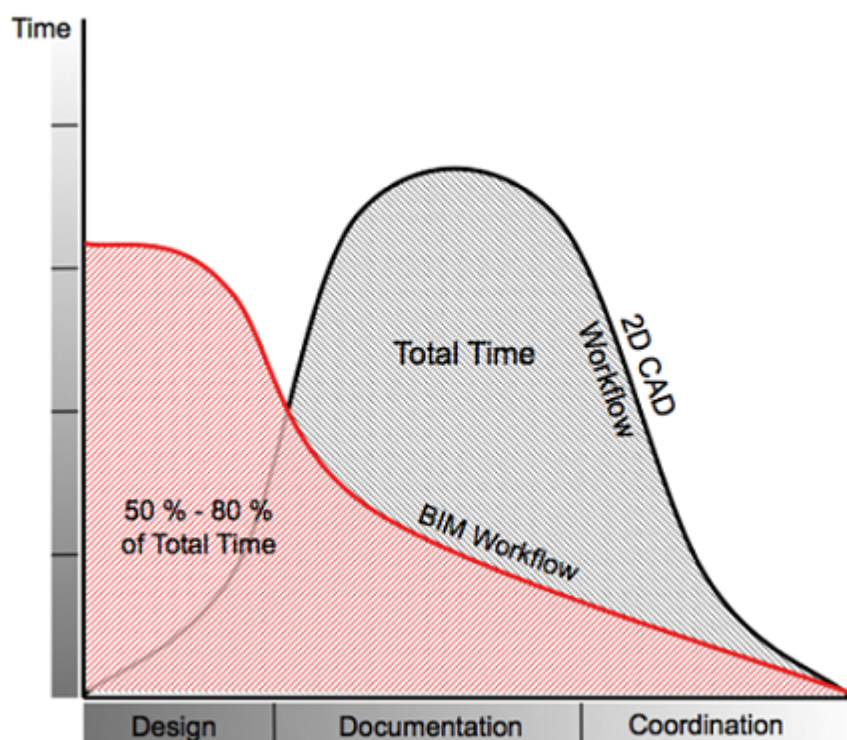


Ilustración 5 – Comparación de la duración de las etapas en BIM y CAD

- Haciendo referencia a la siguiente ilustración y a lo último que se ha comentado, se observa como el impacto económico de los cambios conforme avanza es mayor, por lo que un aporte de tiempo mayor en las primeras fases que en las ultimas nos repercutirá positivamente respecto al coste final del proyecto.

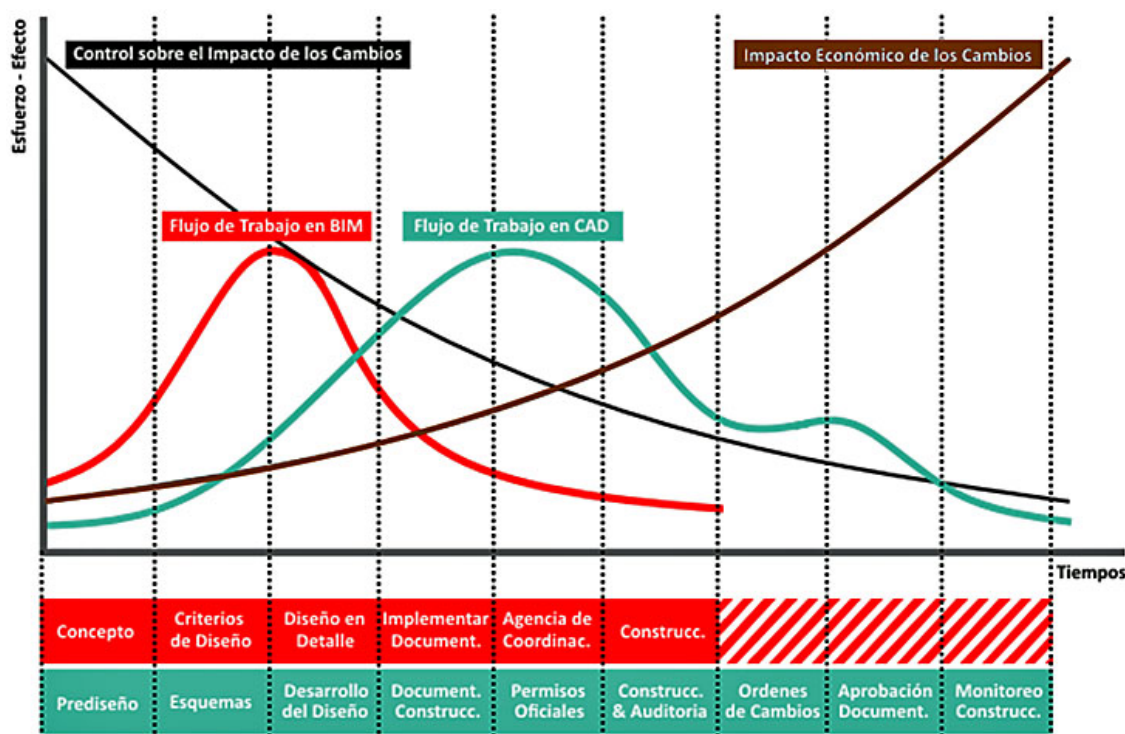


Ilustración 6 – Comparación de los impactos generados por los cambios en BIM y CAD

- Una ventaja más a destacar es que BIM se puede considerar una base de datos del proyecto que se va a realizar, permitiendo el acceso a todos los agentes que intervienen y facilitando la relación con el cliente pudiendo ver el avance del proyecto en todo momento.

1.3.4.2 Inconvenientes

Por otra parte, las limitaciones a plantear de esta metodología se pueden resumir en dos:

- La primera a plantear es el coste. BIM no es barato y, al igual que con todo método, es necesaria la compra del software, lo que conlleva también los gastos de mantenimiento y actualización. Esto no es lo único, ya que al utilizar un grado de tecnología avanzado se requieren equipos y material que al final aumentan el coste inicial.
- La segunda es el tiempo. La implantación del BIM no es rápida ni sencilla, la formación de los trabajadores de una empresa supone tiempo, que finalmente, se traduce en más dinero a invertir.

Como se puede comprobar, las limitaciones de BIM no se refieren a la capacidad de la metodología, sino más bien a su implementación en los sistemas existentes y al factor económico. Una vez adoptada, esta metodología aporta múltiples ventajas, sobretudo en el ámbito de la productividad.

1.3.5 Panorama actual de BIM

La evolución de BIM ha estado creciendo de forma exponencial en todo el mundo, encontrándose Estados Unidos, Canadá, Reino Unido y Alemania entre los principales postores por su integración en el sector de la construcción. Esta inversión que cada vez vienen haciendo más países va dejando atrás a metodologías más tradicionales como es el CAD.

En países como Noruega, Finlandia o Dinamarca el uso de BIM es obligatorio desde hace ya unos años y recientemente se han estado centrando en la eficiencia energética, la coordinación y la optimización de errores. Estados Unidos fue uno de los primeros en implementarlo en gran parte del diseño en construcción, además lleva ya tiempo expandiendo esta metodología en grandes proyectos públicos. Tanto este último como Suiza, Australia o Nueva Zelanda son unos de los países que cuentan con guías y normas para la aplicación de BIM.

En Centroamérica y Sudamérica la implantación va más lenta a pesar de que en algunos países como Perú, Chile o Colombia posean un ritmo de contratación de perfiles muy alto. Respecto a Asia, la mayoría de los países llevan desarrollando estrategias de implementación de BIM desde hace tiempo, destacando Dubái donde es obligatorio su uso en proyectos desde 2013.

En cambio, a diferencia de muchos de los países europeos, España va algo por detrás. Su uso comenzó en 2010 cuando las grandes empresas se vieron obligadas a utilizarlo en proyectos internacionales. No fue hasta 2018 cuando se hizo obligatorio el uso de BIM en la parte de diseño de las Licitaciones Públicas, siendo obligatorio en 2020 ya en todas sus fases. Fue a raíz de presiones provenientes de instituciones europeas lo que hizo que el Ministerio de Fomento creara una Comisión esBIM. Posteriormente, en 2019, se creó la Comisión Interministerial BIM para que se llevaran a cabo los objetivos planteados. A nivel regional destaca Cataluña, donde el Govern de la Generalitat puso un mandato en marcha pasando a ser obligatorio desde 2019 su uso en determinados contratos de obra pública y de obras de edificación promovidos por la Administración de la Generalitat y de su sector público.

2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO A CONSTRUIR

En el presente capítulo se realiza una descripción acerca de la edificación a construir, así como de los elementos que la componen y el porqué de su elección.

2.1 Localización y emplazamiento

La capilla que se desea construir a través del actual proyecto se alojará en la parcela propiedad del Colegio Highlands, el cual se encuentra localizado a las afueras de la ciudad de Sevilla, concretamente en el Km. 4,5 de la Carretera de Utrera. La parcela, como se ve en la imagen de abajo, se sitúa en la zona Sureste de la capital andaluza, a escasos minutos del centro neurálgico de la ciudad.

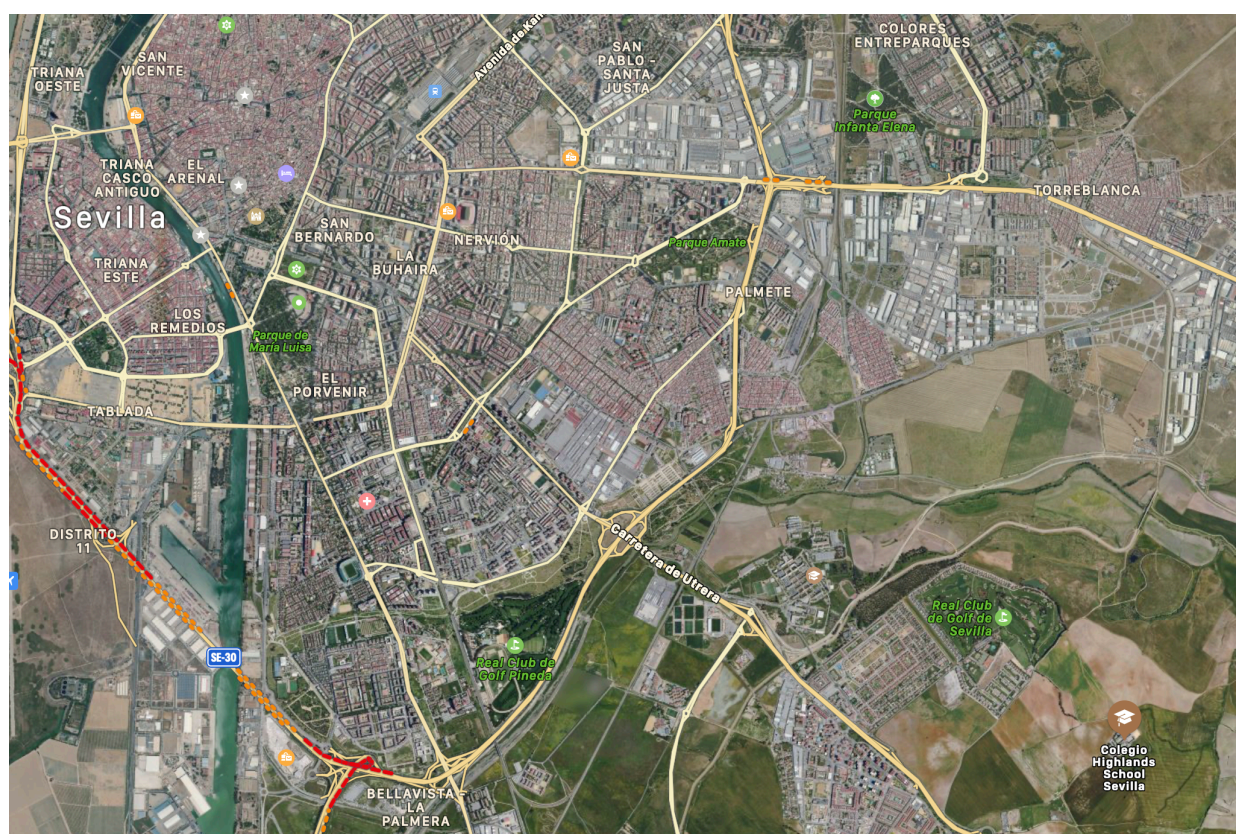


Ilustración 7 – Localización de la parcela (abajo a la derecha)

Si se amplía la parcela, se puede observar la zona propuesta donde se llevará a cabo la construcción del edificio, la cual se encuentra recuadrada en rojo en la imagen que se ve a continuación.



Ilustración 8 – Zona de la parcela donde se ubicará la capilla

El terreno, actualmente compuesto por zonas de jardines, tiene unas dimensiones aproximadas de 30 m x 40 m. Alrededor de 1200 m² en los que se ubicará la construcción y unas zonas verdes que la rodearán.

2.2 Dimensiones de la estructura

Tal y como se menciona al principio de esta memoria, el diseño de la estructura se realiza a partir del modelo arquitectónico, el cual fue proporcionado al comienzo del presente proyecto ya en formato Revit. Esto facilita el trabajo a la hora del diseño inicial, ya que las dimensiones del edificio ya se encuentran definidas.

En la capilla se pueden diferenciar 3 partes en base a su funcionalidad, las cuales tienen altura, ancho, número de plantas y distribución de pilares diferentes. A pesar de ser un mismo edificio, estas 3 zonas se han estudiado de forma independiente dentro del apartado de cálculo estructural, ya que debido a todas esas diferencias las acciones que actúen sobre ellas lo harán de forma diferente.

Las partes que componen la edificación se aprecian en la imagen de a continuación:

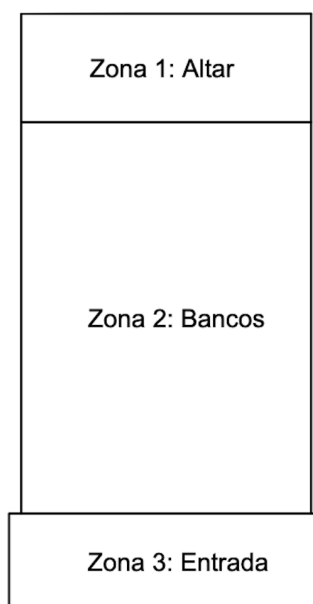


Ilustración 9 – Esquema de la capilla

Las distintas funcionalidades y características principales de cada una de las zonas que componen la construcción son:

2.2.1 Zona 1: Altar

Esta parte, tal y como se indica es donde se ubicará el altar. Es la zona más alta de todo el edificio y se conforma por una superficie diáfana de poco menos de 100 m^2 y de una cubierta plana formada por correas cruzadas y una cubierta ligera.

2.2.2 Zona 2: Bancos

En esta zona se ubicarán los bancos donde se sentará el público que asista. Es la zona más amplia y también es diáfana. Se compone de cerca de 350 m^2 y tiene una cubierta con una escasa pendiente. Dicho cerramiento estará formado por correas apoyadas sobre los pórticos, las cuales hacen de soporte del peso de una cubierta ligera.

2.2.3 Zona 3: Entrada

Esta parte, a diferencia de las otras, no es diáfana. Se conforma por la planta acceso, por la que se entrará al edificio, y por la planta de arriba, donde se ubicará el coro de la capilla. La planta de acceso tiene una superficie también cercana a los 100 m^2 , en cambio, la planta coro se compone por unos 80 m^2 de superficie más un voladizo de unos 60 m^2 aproximadamente.

No se ha comentado las alturas de ninguna de las zonas debido a que la altura sobre rasante cambia según la orientación por la que se mire. Esto se aclarará más adelante en la Memoria de Cálculo Estructural.

2.3 Composición Estructural

En este apartado se detallan los distintos elementos de los que se compone la estructura de la construcción, así como la de los elementos arquitectónicos, los cuales más adelante se necesitarán tener en cuenta para la memoria de cálculo.

2.3.1 Características principales

A continuación, se hace un breve comentario de las estructuras elegidas para las 3 zonas de las que se compone la capilla, basándose estas en la información que incluye el modelo arquitectónico. En apartados posteriores, dentro de la Memoria de Modelado, se especificará el porqué de las elecciones que se han hecho.

En la estructura de la zona 1 se ha optado por dos pórticos separados por 6 m aproximadamente. Cubren una luz de cerca de 16 m, aunque tendrán pilares en la pared exterior que ayuden a soportar las cargas laterales sobre dicha pared y, además, otros dos en los muros de la división del altar con la zona de los bancos. Tanto en los laterales como en la zona central de la pared del fondo habrá cruces de San Andrés.

La estructura de la zona 2 está formada por 7 pórticos de una separación máxima de 4 m aproximadamente. Cubren una luz de cerca de 16 m también y, como se mencionó con anterioridad, la cubierta tiene una pendiente, la cual tiene una inclinación menor a 5°.

En cuanto a la estructura de la zona 3, la distribución no es igual de simétrica que en las otras zonas. La parte donde se ubica la escalera tiene un ancho menor respecto a la esquematización que se hizo antes. Por tanto, la zona estará formada por dos pórticos de separación de 5,5 m aproximadamente y dos más pequeños en la zona de la escalera de separación de 4 m aproximadamente, de los cuales uno estará unido a uno de los anteriores. La luz que se cubre es aproximadamente de un metro más que las de las otras dos zonas. En esta zona también habrá cruces de San Andrés, se ubicarán en las zonas donde no vaya a haber ventanas.

2.3.2 Propuesta de materiales de los elementos estructurales

Los materiales que se han decidido utilizar para los elementos estructurales de la construcción del presente proyecto se diferencian en dos: los correspondientes a la estructura y los que componen la cimentación.

Para los elementos de la estructura se ha elegido el Acero S275 por sus propiedades resistentes. Sí es cierto que el hormigón es más resistente al fuego que el acero, pero para este caso se van a valorar por encima las propiedades resistentes a tensión y flexión que las resistentes al fuego. Lo que se hará es recubrir los elementos estructurales con un aislante de lana de roca de tal manera que resuelva esta falta que aparece al elegir este tipo de material. Hay que destacar también la propiedad isotrópica del acero, la cual permite que este sea altamente moldeable, obteniendo así un perfil que se adapte a cualquiera de las necesidades que exija la estructura y las acciones que actúen sobre ella. Además, su peso es mucho menor que el del hormigón, lo cual también será una gran ventaja. Las características mecánicas que presenta el acero S275 son las siguientes:

- Módulo de elasticidad, E : 210000 MPa.
- Coeficiente de Poisson, ν : 0,3.
- Módulo de rigidez a cortante, G : 81000 MPa.
- Densidad, ρ : 7850 kg/m³.
- Coeficiente de dilatación térmica, α : $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Para la cimentación se ha elegido el hormigón, sistema comúnmente más utilizado en la actualidad en los cimientos de las construcciones en general. Este material, además de soportar muy bien los esfuerzos a compresión, es capaz de absorber los esfuerzos de tracción evitando así los problemas de asentamientos. Dicha cimentación estará compuesta por hormigón HA-30, cuya resistencia de cálculo a compresión tiene un valor de 30 MPa, y en caso de armarse tendrá barras de acero B 500SD, cuyo límite elástico es 500 MPa y su carga unitaria de rotura es 575 MPa.

2.3.3 Perfiles metálicos

Tal y como se acaba de comentar, los elementos estructurales de la construcción serán de acero, concretamente serán perfiles de acero laminado de tipo IPN. Este tipo de perfiles tienen un diseño simplificado y optimizado, además de una fácil instalación. Se puede destacar su capacidad de flexibilidad, propiedad que se comentaba anteriormente como una ventaja frente al hormigón, lo que hace que se puedan adaptar a todo tipo de necesidades estructurales. Sus características isotrópicas hacen que sean fáciles de moldear, por lo que permite fabricarse perfiles especiales según las necesidades. A continuación, se observa cómo es el aspecto de este tipo de perfiles:



Ilustración 10 – Perfil IPN

La diferencia del IPN respecto a otros perfiles es que las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma, mientras que las partes interiores presentan una inclinación de un 14%, la cual va decreciendo hacia el borde. Hay que destacar también que sus uniones de ala y alma son redondeadas, siendo el borde con arista exterior viva.

Todos los perfiles metálicos irán recubiertos con una proyección de espuma de lana mineral para mejorar su resistencia frente al fuego.

A continuación, se comentan brevemente los tipos de perfiles que se han elegido para cada elemento como primera aproximación de ellos:

2.3.3.1 Pilares

Los pilares de las estructuras se modelarán con un perfil IPN 200. En caso de que en el programa de análisis se indique que se necesita más sección para alguno de ellos se cambiarán individualmente, aunque siempre manteniendo una simetría.

2.3.3.2 Vigas

En cambio, para las vigas habrá más variedad. Para las que vayan a sujetar la tabiquería se selecciona un IPN 100, mientras que para los cerramientos exteriores o sujeción de cubiertas se elige un perfil IPN 200 y un IPN 300.

2.3.3.3 Correas

Para el caso de las correas el perfil será más pequeño que para la mayoría de las vigas. En este caso se elige un perfil IPN 80.

2.3.4 Cerramientos exteriores

Los cerramientos exteriores van a estar compuestos por varias capas de elementos, cada una con una utilidad diferente. A continuación, se exponen los elementos de cada una de ellas, su espesor, su peso y la utilidad que tiene:

- En la parte exterior habrá un revestimiento de placas de piedra de unos 2 cm. Tendrá un peso aproximado de 7 kg/m² y la utilidad de esta capa será exclusivamente estética.
- La siguiente capa interior estará compuesta por una cítara de 12 cm de ladrillo perforado. El peso de esta capa será de 200 kg/m² y su utilidad es la de muro portante.
- Entre la cítara y la siguiente capa irá un mortero de cemento de unos 2 cm de espesor. El peso de esta capa ronda los 46 kg/m² y tiene una utilidad ligante o aglomerante.
- Después del mortero de cemento se añade una espuma de poliuretano proyectada, la cual hará de aislante térmico. Tendrá un espesor de 5 cm y un peso de 1,75 kg/m².
- Para añadirle mayor resistencia portante se le añade otra capa de ladrillo. En este caso es una hoja interior de ladrillo hueco doble de 7 cm, cuyo peso es de 65,1 kg/m².
- Por último, se añade un calibel de 5 cm de espesor. Este estará formado a su vez por dos capas: una de 4 cm de lana de vidrio de alta densidad, que sirve como aislamiento frente al fuego, y otra de 1 cm de yeso, la cual hace de acabado superficial interior.

Por tanto, el peso total del cerramiento exterior será de 325,75 kg/m², los cuales habría que multiplicar por el alto que vayan a tener, y luego, aplicarse como una carga lineal sobre las vigas que estén sujetándolo.

2.3.5 Tabiquería

La tabiquería también va a estar compuesta por varias capas de elementos, sin embargo, tendrá un espesor final menor que el de los cerramientos exteriores. A continuación, se exponen también los elementos de cada una de las capas, su espesor y la utilidad que tiene:

- En la parte exterior habrá un enlucido en yeso de 1,5 cm de espesor, que hará de acabado superficial.
- Luego tendrá una capa de ladrillo hueco doble de 7 cm de espesor, incluyendo una capa de mortero de agarre. La función de esta capa es la de muro portante.
- En la siguiente capa irá un aislamiento al ruido aéreo formado por una doble capa de fieltro textil y una lámina viscoelástica de alta densidad, la cual tendrá un espesor de unos 3,6 cm aproximadamente.
- Después del aislamiento se encuentra otra capa de ladrillo hueco doble de 7 cm, donde también se incluye una capa de mortero de agarre.
- Finalmente, se añade otra capa de enlucido en yeso de 1,5 cm de espesor, el cual también hace de acabado superficial.

Por tanto, el peso total del tabique será de 146,45 kg/m², el cual también tendrá que multiplicarse por la altura y después aplicarse como carga lineal en las vigas que hagan de soporte.

2.3.6 Forjados

El forjado será el mismo para la planta acceso y para la planta coro. Será de tipo unidireccional y estará compuesto por un sistema de viguetas, bovedillas que se montarán entre éstas, y finalmente, una capa de compresión de hormigón.

El sistema de viguetas será del mismo perfil que se está utilizando en el resto de la estructura, es decir, un IPN, para estos elementos será concretamente el perfil IPN 80.

En cuanto a las bovedillas, habrá dos medidas según la separación que haya entre viguetas: de 60 cm y de 80 cm de ancho. El material del que estarán hechas será de cerámica, ya que presenta una mejor resistencia al fuego. A continuación, se puede observar una imagen de este tipo de elemento:

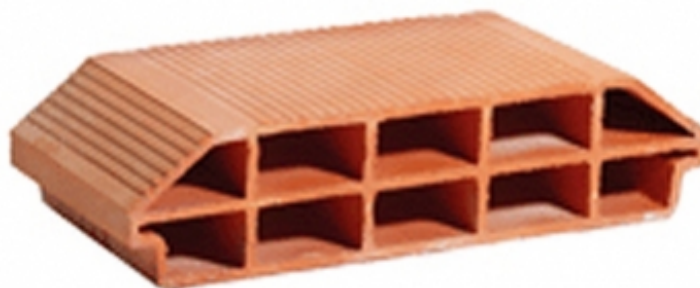


Ilustración 11 – Bovedilla de cerámica

Por último, una vez se haya instalado el sistema de viguetas apoyada sobre las vigas de la estructura y las bovedillas entre ellas, se colocaría una capa de compresión de unos 5 cm de ancho. Esta capa sería de hormigón estará ligeramente armada mediante un mallazo de barras de 4 mm de diámetro. Sobre esta capa se aplicará el acabado superficial que se explica dos apartados más abajo.

2.3.7 Cubiertas

Las cubiertas serán de tipo ligera, concretamente serán de tipo Deck. Serán prefabricadas y posteriormente se le aplicará un acabado superficial que disimule la apariencia artificial que pueda tener. A continuación, se puede ver cómo son y las distintas capas de las que se componen:



Ilustración 12 – Cubierta Deck Rockwool

Como se puede observar, este tipo de cubiertas están conformadas por distintas capas de elementos, los cuales se exponen a continuación:

- Como elemento resistente se utilizará una chapa HTK-75 de 1,2 mm de espesor, cuyo peso es de 13,56 kg/m².
- Tendrá una capa de poliestireno extruido, el cual regularizará la forma grecada de la chapa. El espesor será de unos 6 cm y tendrá un peso aproximado de 2 kg/m².
- Como barrera de vapor se utilizará un papel Kraft. Este material evitará la condensación del vapor dentro de la cubierta, evitando a su vez la aparición de hongos y moho y, por tanto, el que se estropee la cubierta. Tendrá un espesor de 0,5 mm y su peso es de unos 0,4 kg/m². Es importante saber que se debe colocar en la cara interior en climas fríos y al revés para climas cálidos, es decir, en la parte exterior.
- La siguiente capa que tendrá es de lana de roca, la cual hará de aislante frente al fuego. Tendrá un espesor de 10 cm y su peso será de alrededor de los 10 kg/m².
- Al ser una cubierta no debe faltar una capa impermeabilizante, por lo que se incluirá membrana de EPDM, es decir, un caucho de polietileno propileno dieno monómero, el cual es un elastómero con unas propiedades muy buenas frente al paso del agua y los agentes atmosféricos. Su espesor será de 1,5 mm y tendrá un peso de 2 kg/m².
- Por último, habrá un acabado de lámina de autoprotección mineral de 2,5 mm de espesor y 4 kg/m² de peso.

Por tanto, el peso total de las cubiertas será de aproximadamente 32 kg/m², carga que debe aplicarse como proyectada horizontalmente sobre las correas. Además, se ha de tener en cuenta la inclinación de la cubierta para la zona de los bancos.

2.3.8 Acabados

Respecto a los acabados superficiales, se van a comentar por separado los de las cubiertas, los de los suelos de la planta interiores y, por último, el de los techos. En cuanto a los de los cerramientos exteriores y la tabiquería están incluidos en las capas que se acaban de comentar.

Empezando por el de las cubiertas, a parte del acabado que tenga la propia cubierta Deck, se le aplicará un revestimiento a base de resina acrílica y poliuretano, el cual estará reforzado con fibras. Este tipo de acabado permite una buena impermeabilización y tiene muy buenas propiedades elásticas.

Para el acabado superficial de las plantas interiores se le aplicará una capa de proyección de espuma de lana de roca que proteja el sistema de viguetas frente al fuego y, además, haga de aislante acústico. Una vez aplicado el aislante y su posterior capa de compresión, se le va a añadir una solería de baldosas de mármol, ya que es un material propio de la estética de las capillas. Esta capa estará compuesta por una capa de mortero de agarre, una capa de nivelación y, finalmente, la propia solería de baldosas de mármol. El propio Código Técnico, en el Anejo C del DB-SE-AE, da un valor de 0,8 kN/m² de peso para este tipo de solería, la cual se introducirá como carga muerta, como se verá más adelante.

En las zonas interiores de las cubiertas se van a instalar unos falsos techos dentro de los cuales se ocultarán las instalaciones de luminarias, fontanería, protección contra incendio, etc. La empresa Kingspan detalla en su catálogo que tendrán un peso distribuido igual a 0,55 kN/m².

2.4 Distribución de pilares

Para la distribución de pilares de este proyecto no ha habido muchas dudas, ya que, como se verá más adelante en la memoria de modelado, se hará uso de unos elementos de Revit denominados “rejillas”, los cuales vendrán definidos en el modelo arquitectónico, aunque también se podrán crear más en caso de ser necesario. Es en sus intersecciones donde se colocarán estos elementos estructurales. Aparte de hacer uso de estos elementos del programa, que se definirán en la parte de modelado, se han hecho coincidir los pilares de tal forma que se creen pórticos coincidentes con las vigas que salvan las luces en el modelo arquitectónico.

Por tanto, la distribución de pilares elegida para la construcción del actual proyecto queda definida en la siguiente imagen:

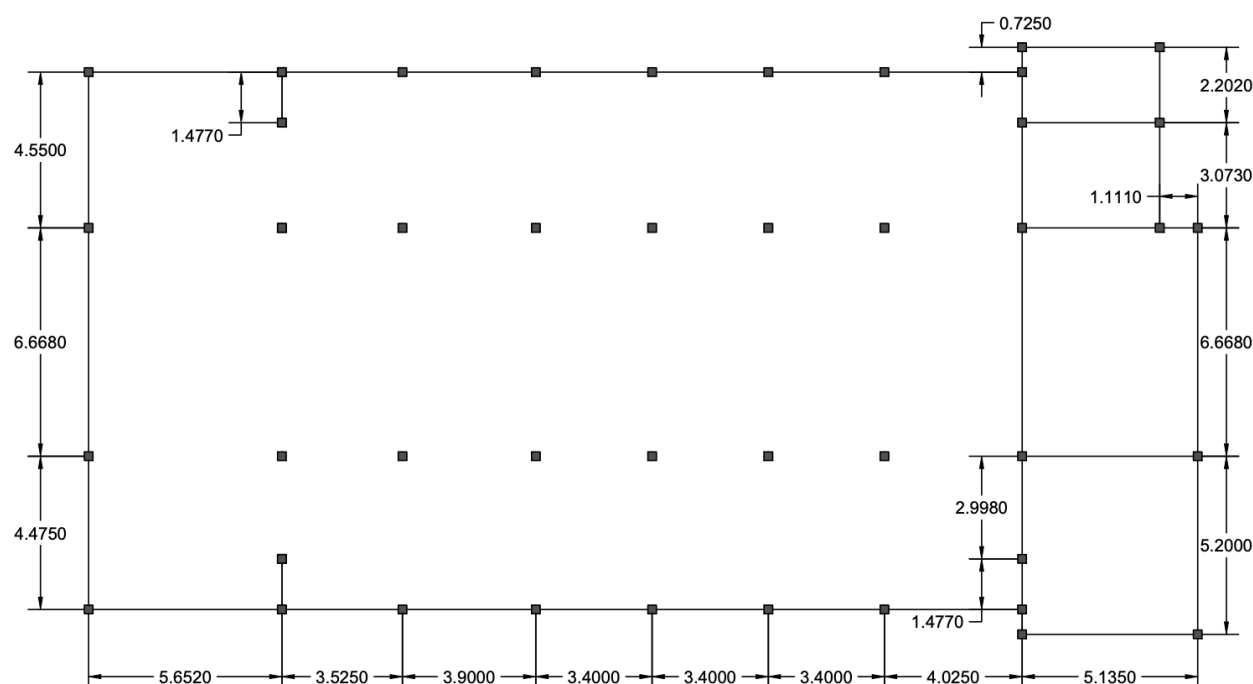


Ilustración 13 – Distribución de pilares

Se puede observar que están definidos también los cerramientos que hay, destacándose los que dividen la entrada en la zona de la escalera, en una habitación ubicada en la parte que está más al norte y en la propia entrada en el centro. También entre el altar y la zona de los bancos se puede diferenciar dos tramos de muro que se meten hacia dentro, los cuales darán resistencia a la cubierta tan elevada que hay en esa zona.

Todos los pilares llegan hasta la cimentación, pero no todos se encuentran contenidos dentro de los cerramientos. Los pilares del centro, concretamente los que se ven que no están unidos a ningún cerramiento, tan solo van desde la planta acceso a cimentación y soportarán la estructura de vigas longitudinales que a su vez soportará la estructura del forjado. Todos los pilares de los lados forman pórticos con sus opuestos, siendo estos de una forma distinta para cada una de las tres zonas que se definieron anteriormente.

El Código Técnico menciona que para una estructura hecha de acero se necesitará construir una junta de dilatación cada 40 m, pero para el caso de este proyecto al tener la construcción una longitud de unos 32 m no hará falta.

2.5 Cimentación

En este apartado, como se mencionó con anterioridad, se procede a proponer una cimentación para la estructura del actual proyecto, a pesar de no ser objeto de estudio de este. Para ello se hará mano del estudio geotécnico de la zona, del cual se observa la composición del terreno, el tipo de ambiente, las características sísmicas de la zona y una propuesta de cimentación, entre otras cosas.

La zona donde se llevará a cabo la construcción se encuentra al Suroeste de la ciudad de Sevilla, en el margen izquierdo del río Guadalquivir, de cuyo cauce dista al menos unos 10 Km. La topografía de la zona es planar, con relieves muy suaves rondando entre 20 y 40 metros sobre el nivel del mar. Por tanto, los materiales que componen el sustrato son los pertenecientes al conjunto de materiales que conforman la Depresión del Guadalquivir, de los cuales en esta zona en concreto afloran las arenas limosas amarillas, las calcarenitas y las mangas verdes, encontrándose estas últimas intercaladas a techo dentro de las calcarenitas.

Respecto a la clase de exposición y el tipo de ambiente, en el estudio geotécnico se observa que es de tipo IIa, lo cual se recomienda un tipo de cemento ordinario.

Por último, el tipo de cimentación que propone el estudio geotécnico es el de zapatas arriostradas mediante vigas de atado. Dicha cimentación será hormigonada in situ y, además, se recomienda que se construya a una profundidad mínima de 1,5 m.

Un dato interesante, el cual posteriormente podrá ser de utilidad en este proyecto, es el valor de la tensión admisible del terreno, que según los cálculos que realiza el estudio geotécnico es igual a:

$$T_{ADM} = 2,9 \text{ kg/cm}^2$$

REFERENCIAS

- WEB: <https://www.kaizenai.com/bim>
- WEB: <https://www.conceptbim.com>
- WEB: <https://seystic.com>
- WEB: <https://www.bimnd.es/lod-la-metodologia-bim/>
- WEB: <https://multitubo.es/7-dimensiones-de-bim-conocelas/>
- WEB: http://sabs.in/sabs_bim/BIM_Model_Development_at_varying_LOD.html
- WEB: <https://www.bimtool.com/About>
- WEB: <https://blog.acaddemia.com/dimensiones-que-abarcamos-con-un-modelo-bim/>
- WEB: <https://www.espaciobim.com>
- WEB: <https://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>
- WEB: <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/construyendo-ciudades-inteligentes-bim-building-information-modeling>
- WEB: https://www.bimcommunity.com/news/load/329/la-situacion-actual-del-bim-en-el-mundo/view_original
- WEB: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/bim-en-el-mundo-implantacion-de-la-nueva-metodologia-en-el-sector-de-la-arquitectura>
- WEB: <https://www.ceramicafuste.com/es/bovedilla-ceramica-de-60-y-70-entre-ejes/519>
- WEB: <https://www.solostocks.com/venta-productos/piedra-material-cantera/marmol/baldosas-marmol-crema-marfil-beige-10592525>
- WEB: <http://alsimet.es/es/noticias/vigas-ipn-perfil-estructural-hierro>
- WEB: <https://www.rockwool.es/aplicaciones/cubiertas/cubierta-plana/cubierta-deck/cubierta-deck-deckrock-lbm-fa/>
- WEB: <https://reveton.com/impermeabilizacion-de-cubiertas/>
- WEB: <https://www.rfaeco.com/que-es-revit-de-autodesk-y-para-que-sirve/>
- TFG: Modelado BIM para el proyecto de una edificación destinada a la venta y mantenimiento de automóviles en el polígono Nuevo Jaén, Luis Linde Torres, Universidad de Jaén.

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

PARTE II: MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Miguel Ángel López López

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Índice de Contenido

Índice de Contenido	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vii
1 Introducción	1
1.1 Objetivo	1
1.2 Alcance	1
2 Acciones Permanentes	3
3 Acciones Variables	5
3.1 Sobrecarga de uso	5
3.2 Viento	6
3.2.1 Presión Dinámica	7
3.2.2 Coeficiente de exposición	7
3.2.3 Coeficiente de presión exterior o eólico	9
3.3 Acciones térmicas	39
3.4 Nieve	41
4 Acciones Accidentales	43
4.1 Sismo	43
4.1.1 Modos de vibración	43
4.1.2 Aceleración sísmica de cálculo	44
4.1.3 Cálculo de la Fuerza Sísmica	45
4.1.4 Reparto de las Fuerzas sísmicas equivalentes	49
5 Normativas	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 – Mapa de velocidades básicas de la velocidad del viento, v_b	7
Ilustración 2 – Alturas sobre rasante según la orientación	8
Ilustración 3 – Medidas de la sectorización de la edificación	10
Ilustración 4 – Mapa de isotermas de la temperatura anual máxima del aire en °C	39
Ilustración 5 – Mapa de zonas climáticas de invierno	40
Ilustración 6 – Mapa de Peligrosidad Sísmica	44
Ilustración 7 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso de la Zona Altar	50
Ilustración 8 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Altar	52
Ilustración 9 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso de la Zona Bancos	53
Ilustración 10 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Zona Bancos	54
Ilustración 11 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso Zona Entrada	55
Ilustración 12 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Coro	56
Ilustración 13 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Entrada	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Valores característicos de las sobrecargas de uso	5
Tabla 2 – Valores característicos de las sobrecargas de uso de la estructura	6
Tabla 3 – Coeficiente para el tipo de entrono	8
Tabla 4 – Coeficientes de exposición	9
Tabla 5 – Coeficiente Eólico para cubierta plana	10
Tabla 6 – Dimensiones del Caso N.1.a	11
Tabla 7 – Obtención áreas de influencia Caso N.1.a	11
Tabla 8 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.1.a	11
Tabla 9 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.1.a	12
Tabla 10 – Presión estática distribuida del Caso N.1.a	12
Tabla 11 – Dimensiones del Caso N.1.b	13
Tabla 12 – Obtención áreas de influencia Caso N.1.b	13
Tabla 13 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.1.b	13
Tabla 14 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.1.b	13
Tabla 15 – Presión estática distribuida del Caso N.1.b	13
Tabla 16 – Dimensiones del Caso N.2.a	14
Tabla 17 – Obtención áreas de influencia Caso N.2.a	14
Tabla 18 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.2.a	14
Tabla 19 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.2.a	14
Tabla 20 – Presión estática distribuida del Caso N.2.a	14
Tabla 21 – Dimensiones del Caso N.2.b	15
Tabla 22 – Obtención áreas de influencia Caso N.2.b	15
Tabla 23 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.2.b	15
Tabla 24 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.2.b	15
Tabla 25 – Presión estática distribuida del Caso N.2.b	15
Tabla 26 – Dimensiones del Caso N.3.a	16
Tabla 27 – Obtención áreas de influencia Caso N.3.a	16
Tabla 28 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.3.a	16
Tabla 29 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.3.a	16
Tabla 30 – Presión estática distribuida del Caso N.3.a	16
Tabla 31 – Dimensiones del Caso N.3.b	17
Tabla 32 – Obtención áreas de influencia Caso N.3.b	17
Tabla 33 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.3.b	17
Tabla 34 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.3.b	17
Tabla 35 – Presión estática distribuida del Caso N.3.a	17
Tabla 36 – Dimensiones del Caso S.1.a	18
Tabla 37 – Obtención áreas de influencia Caso S.1.a	18
Tabla 38 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.1.a	18
Tabla 39 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.1.a	18
Tabla 40 – Presión estática distribuida del Caso S.1.a	18
Tabla 41 – Dimensiones del Caso S.1.b	19
Tabla 42 – Obtención áreas de influencia Caso S.1.b	19
Tabla 43 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.1.b	19
Tabla 44 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.1.b	19

Tabla 45 – Presión estática distribuida del Caso S.1.b	19
Tabla 46 – Dimensiones del Caso S.2.a	20
Tabla 47 – Obtención áreas de influencia Caso S.2.a	20
Tabla 48 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.2.a	20
Tabla 49 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.2.a	20
Tabla 50 – Presión estática distribuida del Caso S.2.a	20
Tabla 51 – Dimensiones del Caso S.2.b	21
Tabla 52 – Obtención áreas de influencia Caso S.2.b	21
Tabla 53 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.2.b	21
Tabla 54 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.2.b	21
Tabla 55 – Presión estática distribuida del Caso S.2.b	21
Tabla 56 – Dimensiones del Caso S.3.a	22
Tabla 57 – Obtención áreas de influencia Caso S.3.a	22
Tabla 58 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.3.a	22
Tabla 59 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.3.a	22
Tabla 60 – Presión estática distribuida del Caso S.3.a	22
Tabla 61 – Dimensiones del Caso S.3.b	23
Tabla 62 – Obtención áreas de influencia Caso S.3.b	23
Tabla 63 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.3.b	23
Tabla 64 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.3.b	23
Tabla 65 – Presión estática distribuida del Caso S.3.b	23
Tabla 66 – Dimensiones del Caso O.1.a	24
Tabla 67 – Obtención áreas de influencia Caso O.1.a	24
Tabla 68 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.1.a	24
Tabla 69 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.1.a	24
Tabla 70 – Presión estática distribuida del Caso O.1.a	24
Tabla 71 – Dimensiones del Caso O.1.b	25
Tabla 72 – Obtención áreas de influencia Caso O.1.b	25
Tabla 73 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.1.b	25
Tabla 74 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.1.b	25
Tabla 75 – Presión estática distribuida del Caso O.1.b	25
Tabla 76 – Dimensiones del Caso O.2.a	26
Tabla 77 – Obtención áreas de influencia Caso O.2.a	26
Tabla 78 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.2.a	26
Tabla 79 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.2.a	26
Tabla 80 – Presión estática distribuida del Caso O.2.a	26
Tabla 81 – Dimensiones del Caso O.2.b	27
Tabla 82 – Obtención áreas de influencia Caso O.2.b	27
Tabla 83 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.2.b	27
Tabla 84 – Presión estática distribuida del Caso O.2.b	27
Tabla 85 – Dimensiones del Caso O.3.a	28
Tabla 86 – Obtención áreas de influencia Caso O.3.a	28
Tabla 87 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.3.a	28
Tabla 88 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.3.a	28
Tabla 89 – Presión estática distribuida del Caso O.3.a	28
Tabla 90 – Dimensiones del Caso O.3.b	29
Tabla 91 – Obtención áreas de influencia Caso O.3.b	29
Tabla 92 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.3.b	29
Tabla 93 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.3.b	29
Tabla 94 – Presión estática distribuida del Caso O.3.a	29
Tabla 95 – Dimensiones del Caso E.1.a	30
Tabla 96 – Obtención áreas de influencia Caso E.1.a	30

Tabla 97 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso E.1.a	30
Tabla 98 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso E.1.a	30
Tabla 99 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a	30
Tabla 100 – Dimensiones del Caso E.1.b	31
Tabla 101 – Obtención áreas de influencia Caso E.1.b	31
Tabla 102 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso E.1.b	31
Tabla 103 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso E.1.b	31
Tabla 104 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a	31
Tabla 105 – Coeficientes eólicos para edificios con forjados	32
Tabla 106 – Presión estática distribuida del Caso N.1	33
Tabla 107 – Presión estática distribuida del Caso N.2	33
Tabla 108 – Presión estática distribuida del Caso N.3	34
Tabla 109 – Presión estática distribuida del Caso S.1	34
Tabla 110 – Presión estática distribuida del Caso S.2	35
Tabla 111 – Presión estática distribuida del Caso S.3	35
Tabla 112 – Presión estática distribuida del Caso O.1	36
Tabla 113 – Presión estática distribuida del Caso O.2	37
Tabla 114 – Presión estática distribuida del Caso O.3	37
Tabla 115 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a	38
Tabla 116 – Presión estática distribuida del Caso E.1.b	38
Tabla 117 – Presión estática distribuida del Caso E.1.c	39
Tabla 118 – Temperatura mínima del aire exterior en °C	40
Tabla 119 – Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas	41
Tabla 120 – Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal [kN/m ²]	42
Tabla 121 – Coeficiente de respuesta β	46
Tabla 122 – Factor de distribución Zona 1: Altar	48
Tabla 123 – Factor de distribución Zona 2: Bancos	48
Tabla 124 – Factor de distribución Zona 3: Entrada	48
Tabla 125 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 1: Altar	49
Tabla 126 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 2: Bancos	49
Tabla 127 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 3: Entrada	49
Tabla 128 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Altar en el Caso A	52
Tabla 129 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Altar en el Caso B	52
Tabla 130 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Bancos en el Caso A	53
Tabla 131 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Bancos en el Caso B	54
Tabla 132 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Zona Bancos en el Caso A	55
Tabla 133 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Zona Bancos en el Caso B	55
Tabla 134 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Entrada en el Caso A	56
Tabla 135 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Entrada en el Caso B	56
Tabla 136 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Coro en el Caso A	57
Tabla 137 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Coro en el Caso B	57
Tabla 138 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Entrada en el Caso A	58
Tabla 139 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Entrada en el Caso B	58

1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se explica el objetivo de esta segunda memoria y el alcance que tiene, realizando de esta manera un breve resumen del Documento Básico en el que se basa.

1.1 Objetivo

La presente memoria tiene por objeto la descripción y justificación de las acciones que actúan sobre una capilla situada en el Colegio Highlands, al Suroeste de las afueras de la ciudad de Sevilla, permitiendo así el cálculo y diseño para su construcción.

1.2 Alcance

Para la determinación de las acciones sobre los edificios, de modo que se verifique el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural y la aptitud al servicio, el Código Técnico establece que se ha de seguir el Documento Básico de Acciones en la Edificación (CTE DB-SE-AE).

Dicho Documento Básico clasifica las acciones en tres tipos distintos:

- Acciones Permanentes. Son aquellas que actúan en todo instante sobre el edificio y cuya posición es constante.
- Acciones Variables. Son aquellas que pueden actuar o no sobre el edificio, como son las debidas al uso o las acciones climáticas.
- Acciones Accidentales. Son aquellas que tiene una probabilidad baja de que ocurran, pero de gran importancia, como son los sismos o los incendios.

En los siguientes capítulos se realiza el estudio de cada uno de estos tipos de acciones por separado. Los valores obtenidos se aplicarán posteriormente en la estructura modelada como cargas del tipo al que corresponda cada una de ellas.

Estas acciones son consideradas hipótesis simples, pero habrá que estudiar las combinaciones de dichas hipótesis simples de manera que se ajusten a la realidad lo máximo posible. Esto se realizará más adelante en la Memoria de Modelado con ayuda del software Robot.

2 ACCIONES PERMANENTES

En el presente capítulo se exponen las acciones que actúan durante todo momento en el edificio del actual proyecto.

En este tipo de acciones se tienen en cuenta el peso propio de los elementos estructurales, cerramientos, elementos separadores, la tabiquería y equipos fijos, entre otros.

En Revit se tiene en cuenta el peso propio de los elementos estructurales que se han introducido en el modelo, en cambio los elementos arquitectónicos no, por lo que posteriormente habrá que introducirlos como cargas que se supondrán permanentes en las hipótesis de combinación de acciones. A continuación, se enumeran dichos elementos, su peso y de dónde se ha obtenido el valor de éste:

- Bovedillas de cerámica para el forjado de la empresa Cerámica Fusté:
 1. Para 60 cm de separación entre viguetas: 12 kg/pieza.
 2. Para 80 cm de separación entre viguetas: 14 kg/pieza.
- Cubierta tipo Deck sobre correas modelo HTK-75 de la empresa Hierros y Transformados: 32 kg/m².
- Falso techo de la empresa Kingspan: 55 kg/ m², incluyendo material de agarre.
- Solería. Baldosa hidráulica de 0,05 m de espesor, Anejo C del CTE DB SE-AE: 0,8 kN/ m².
- Aislante lana de roca para protección de elementos metálicos. Empresa Rockwool: 4,8 kg/m².
- Tabiquería formada por ladrillo de doble hoja con aislamiento multicapa aéreo y enlucido de yeso. Empresa ChovAcustic: 146,41 kg/ m².
- Cerramiento exterior, compuesto por las capas comentadas con anterioridad: 325,75 kg/ m².
- Vidrieras, Anejo C del CTE DB SE-AE: 0,35 kN/ m² incluyendo carpintería.
- Instalaciones genéricas: 15 kg/ m².
- Capa de arena: 16 kN/m³.

3 ACCIONES VARIABLES

En el presente capítulo se exponen las acciones que actúan de forma variable sobre el edificio del actual proyecto.

En este tipo de acciones se tiene en cuenta la sobrecarga de uso, el viento, las acciones térmicas y la nieve. Dichas acciones, las cuales se ven en los siguientes apartados, varían según la ubicación, función de la edificación, tipo de cubierta, orientación y otras informaciones que afectan a la estructura.

3.1 Sobrecarga de uso

El Documento Básico considera como sobrecarga de uso al peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso, efectos que, por lo general, pueden simularse por la aplicación de una carga distribuida uniformemente. Asimismo, se deberá realizar comprobaciones locales de capacidad portante, considerándose para ello una carga concentrada actuando en cualquier punto de la zona. Según el Documento Básico, dicha carga concentrada deberá considerarse que actúa sobre una superficie cuadrada de 50 mm, de forma independiente y no simultánea con la distribuida uniformemente.

Para este tipo de acciones, se pueden adoptar los valores característicos que establece la siguiente tabla obtenida del DB-SE-AE, los cuales se clasifican de acuerdo con el uso fundamental de cada zona:

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso					
Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 1 – Valores característicos de las sobrecargas de uso

Antes de tomar ningún valor, se distinguen las zonas en las que podría variar la categoría de uso y, por tanto, sus cargas. Para la capilla del presente proyecto se pueden diferenciar las siguientes:

- Zona 1. Planta Acceso, en la cual se encuentra el altar, la zona de bancos y la entrada.
- Zona 2. Planta Coros.
- Zona 3. Las cubiertas.

Una vez se tienen definidas las zonas con categoría de uso distinta, se obtienen los valores a partir de la Tabla 1, los cuales quedan resumidos a continuación:

Zona	Categoría de uso		Subcategoría de Uso		Carga Uniforme [kN/m ²]	Carga Concentrada [kN]
1	C	Zona de acceso al público	C5	Zonas de aglomeración	5	4
2	C	Zona de acceso al público	C5	Zonas de aglomeración	5	4
3	G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación	G1	Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado)	0,4	1

Tabla 2 – Valores característicos de las sobrecargas de uso de la estructura

Para las cubiertas de subcategoría de uso G1 el Documento Básico hace referencia a varias especificaciones. Entre ellas se destaca que el valor de la carga uniforme indicado se refiere a la proyección horizontal de la superficie de la cubierta. También menciona que se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente, debida únicamente a su cerramiento, no exceda de 1 kN/m². Por último, comenta que la sobrecarga de uso de las cubiertas no se considerará concomitante con el resto de las acciones variables.

3.2 Viento

El Documento Básico considera que la distribución y valor de las presiones que el viento ejerce sobre un edificio dependen de la forma de la construcción, de las características de la ubicación, así como de la intensidad, de la dirección y del racheo del viento.

La acción de viento se establece como una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, es decir, como una presión estática, q_e , que puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

siendo:

- q_b la presión dinámica del viento.
- c_e el coeficiente de exposición.
- c_p el coeficiente cólico o de presión exterior.

A continuación, se calcula la presión dinámica y los coeficientes recién definidos para la obtención de la acción que ejerce el viento sobre la capilla.

3.2.1 Presión Dinámica

El valor de la presión dinámica se puede obtener con la siguiente expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2$$

siendo:

- δ , la densidad del aire, la cual depende de la altitud, de la temperatura ambiental y de fracción del agua en suspensión, entre otras cosas. Según el Documento Básico, en general se puede adoptar el valor de $1,25 \text{ kg/m}^3$.
- v_b , el valor básico de la velocidad del viento, el cual corresponde al valor característico de la velocidad media del viento a lo largo de un periodo de 10 minutos a una altura de 10 metro sobre una zona plana y desprotegida. Este valor queda definido como aquel cuya probabilidad anual de ser sobrepasado es de 0,02 y se puede obtener del mapa que aparece en la siguiente ilustración:

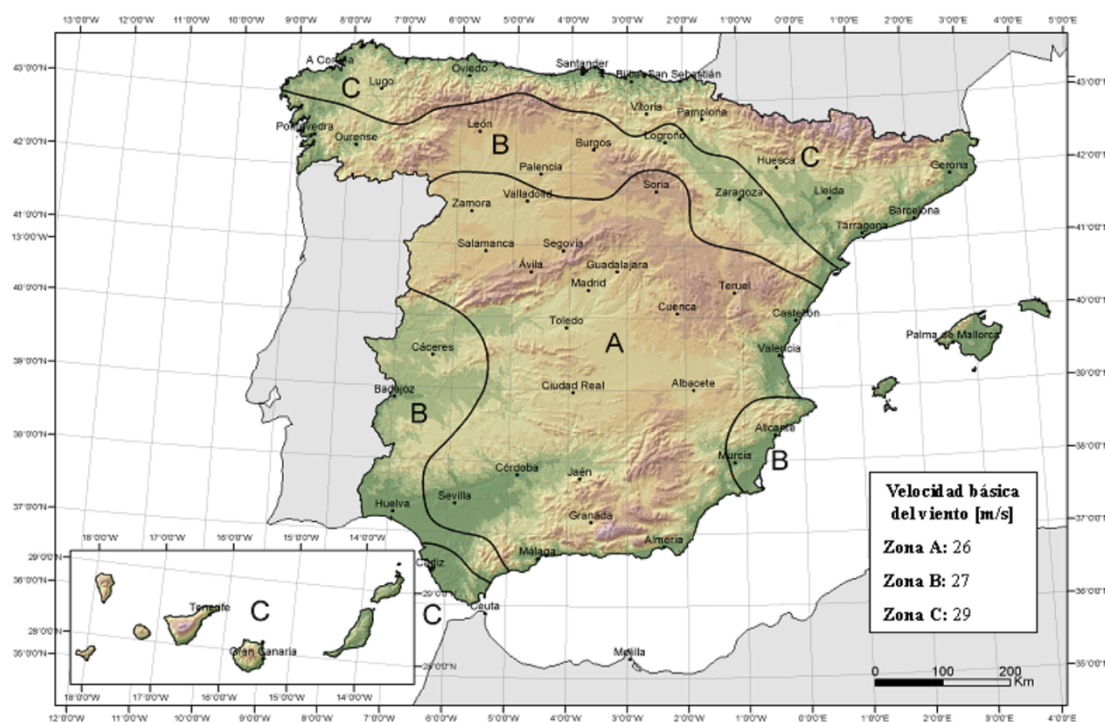


Ilustración 1 – Mapa de velocidades básicas de la velocidad del viento, v_b

Como se puede observar, Sevilla se encuentra dentro de la zona A, por lo que el valor de la velocidad básica es de 26 m/s. Por tanto, según la expresión mencionada anteriormente, el valor de la presión dinámica es:

$$q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

3.2.2 Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición varía con la altura del punto a considerar y del grado de aspereza del entorno de la edificación. Para alturas sobre el terreno, z , se puede determinar a partir de las siguientes expresiones:

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L)$$

$$c_e = F \cdot (F + 7k)$$

Siendo k , L y Z parámetros característicos según el tipo de entorno, los cuales se obtienen de la siguiente tabla:

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Tabla 3 – Coeficiente para el tipo de entorno

Con ayuda de la Norma UNE-EN 1991-1-4, la cual entra en mayor profundidad de las diferencias entre los tipos de entornos y de la transición entre los mismos, se llega a la conclusión de que el entorno de la edificación es de grado III, ya que es una zona rural llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas, cuya separación con la edificación es de al menos 20 veces la altura de dichos obstáculos. Por tanto, los parámetros característicos son:

- $k = 0,19$
- $L = 0,05$ m
- $Z = 2,00$ m

Una vez establecidos los parámetros para el tipo de entorno del emplazamiento, se calcula los coeficientes de las diferentes alturas de la edificación según la orientación, las cuales aparecen en la siguiente ilustración:

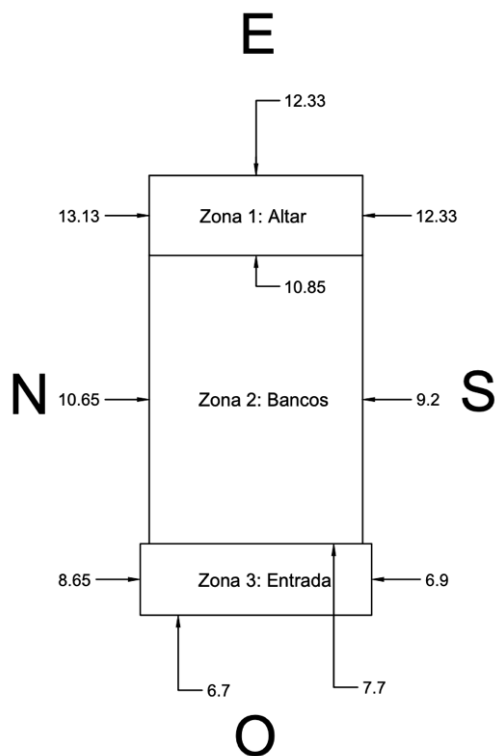


Ilustración 2 – Alturas sobre rasante según la orientación

En la tabla que se encuentra a continuación se pueden ver los valores de los coeficientes obtenidos a partir de las expresiones anteriores y de los parámetros definidos, siendo el código de cada coeficiente “Ce.X.Y”, donde “X” será la orientación desde la que vendrá el viento e “Y” el número de la zona donde se va a estudiar el impacto del viento.

Código	Altura sobre el terreno según orientación [m]	F	Coeficiente de exposición
Ce.E.1	12,33	1,05	2,49
Ce.O.1	10,85	1,02	2,40
Ce.O.2	7,70	0,96	2,19
Ce.O.3	6,70	0,93	2,10
Ce.S.1	12,33	1,05	2,49
Ce.S.2	9,20	0,99	2,30
Ce.S.3	6,90	0,94	2,12
Ce.N.1	13,13	1,06	2,53
Ce.N.2	10,65	1,02	2,39
Ce.N.3	8,65	0,98	2,26

Tabla 4 – Coeficientes de exposición

Cabe destacar el hecho que según la orientación Este sólo haya un coeficiente de exposición, esto es porque el viento impacta sobre el lado de la edificación que tiene una altura mayor, por lo que será imposible que el viento golpee desde esta dirección en las otras zonas, ya que están encubiertas por la zona 1.

3.2.3 Coeficiente de presión exterior o eólico

El coeficiente eólico depende de la dirección del viento, de la forma del edificio, de la posición del elemento considerado y de su área de influencia. A continuación, se va a estudiar por separado dicho coeficiente para acción en cubierta y en los laterales.

3.2.3.1 Coeficiente de presión exterior o eólico de las cubiertas

Para este caso, se va a utilizar el Anejo D del Documento Básico de Acciones en la Edificación, en el cual se facilitan tablas con valores del coeficiente eólico para diversas formas simples de construcciones. Como la edificación del presente proyecto tiene cubiertas de inclinación menor a 5° el Documento Básico dice que se utilice la tabla para cubiertas planas, concretamente se utilizará la parte de ella que habla de bordes con parapetos.

Antes de obtener el coeficiente de presión se hace una esquematización de las zonas de la estructura en las cuales se calculará las áreas de aplicación del viento con ayuda de la tabla que se acaba de mencionar. Dicha esquematización es tal y como se describe en el segundo capítulo de la Memoria Descriptiva. A continuación, se observan las medidas y orientaciones de cada una de las zonas que conforman la estructura:

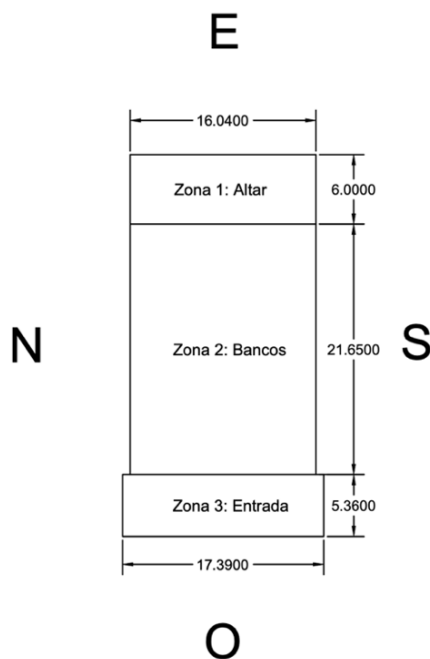
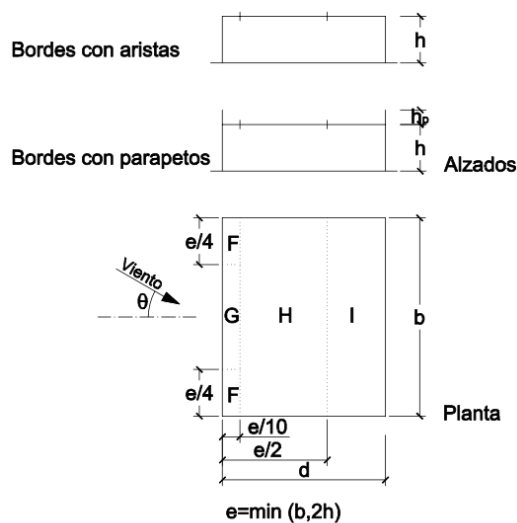


Ilustración 3 – Medidas de la sectorización de la edificación

En la siguiente tabla se recoge los coeficientes de presión por zonas para una cubierta como la que se ha descrito:



	h_p/h	$A \text{ (m}^2\text{)}$	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
			F	G	H	I
Bordes con aristas		≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	0,2 -0,2
Con parapetos	0,025	≥ 10	-1,6	-1,1	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,2	-1,8	-1,2	0,2 -0,2
	0,05	≥ 10	-1,4	-0,9	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-2,0	-1,6	-1,2	0,2 -0,2
	0,10	≥ 10	-1,2	-0,8	-0,7	0,2 -0,2
		≤ 1	-1,8	-1,4	-1,2	0,2 -0,2

Tabla 5 – Coeficiente Eólico para cubierta plana

Como se puede observar, hay valores negativos del coeficiente eólico, lo que hará que el valor final de la presión estática del viento sea también negativo. Esto significa que en la zona en la que se está calculando la acción del viento la presión será de succión.

Otro aspecto a tener en cuenta es que no hay valores del coeficiente para áreas de influencia entre 1 y 10 m². Para ello, el Documento Básico dice que se obtenga a partir de la siguiente expresión:

$$C_{pe,A} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$$

siendo:

- $C_{pe,A}$, el coeficiente eólico del área de influencia que está entre 1 y 10 m².
- $C_{pe,1}$, el coeficiente eólico de elementos de área de influencia $A \leq 1$ m².
- $C_{pe,10}$, el coeficiente eólico de elementos de área de influencia $A \geq 10$ m².

A continuación, se va a desarrollar uno de los casos para comprobar el correcto procedimiento en el que se hallan los coeficientes eólicos y, seguidamente, la presión estática del viento, pero para el resto de los casos solamente se adjuntarán los resultados finales.

La codificación de los casos sigue la misma regla que los coeficientes de exposición que se mencionó con anterioridad. Se ha elegido el Caso N.1.a debido a que se observan todas las variaciones posibles, como áreas de influencia entre 1 y 10 m² o interpolación entre los distintos cocientes de alturas h_p/h .

3.2.3.1.1 Caso N.1.a

Lo primero que se hace es las medidas de la zona a estudiar para obtener el valor del parámetro “e” con el que se obtendrá las áreas de influencia. Como este caso es para viento proveniente del Norte sobre la zona 1, los valores de los parámetros necesarios serán los siguientes:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
6,00	0,93	12,20	24,40	6,00	16,04	96,24	0,08

Tabla 6 – Dimensiones del Caso N.1.a

Teniendo ya el parámetro “e” se pueden calcular las áreas de influencia de la zona:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	3,00	0,60	6,00	2,40	6,00	13,04
Áreas [m ²]	0,90		1,80		14,40		78,24	

Tabla 7 – Obtención áreas de influencia Caso N.1.a

Con las áreas de influencia y con la Tabla 5 se obtienen los coeficientes eólicos:

Zonas	F	G	H	I
$C_{pe,A}$	-1,88	-1,33	-0,70	0,20

Tabla 8 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.1.a

Para cada zona se ha obtenido de la siguiente forma el coeficiente eólico:

- Para la Zona F se ha tenido que interpolar linealmente entre los cocientes de alturas h_p/h 0,05 y 0,10 para áreas de $A \leq 1 \text{ m}^2$, ya que en este caso h_p/h es 0,08, obteniéndose un coeficiente eólico igual a -1,88.
- Para la Zona G se ha hecho el mismo procedimiento de interpolación lineal para los valores de $A \leq 1 \text{ m}^2$ y $A \geq 10 \text{ m}^2$ y, posteriormente, se ha hallado el coeficiente mediante la expresión que se mencionó anteriormente para áreas que se encuentran entre 1 y 10 m^2 . Los valores de $C_{pe,1}$ y $C_{pe,10}$ son -1,48 y -0,84, respectivamente, obteniéndose un coeficiente $C_{pe,G}$ de valor -1,33.
- Para la Zona H no hay duda, ya que tanto para el cociente de alturas h_p/h igual a 0,05 o igual a 0,10 los valores del coeficiente eólico son igual a -0,7 para áreas de influencia de $A \geq 10 \text{ m}^2$.
- Para la Zona I tampoco hay duda ya que siempre toma el valor 0,2, bien sea positivo o negativo, siendo la acción del viento de presión o succión, respectivamente. En este caso se ha tomado el valor positivo y se le llama Caso N.1 versión “a”, la “b”, como se verá más adelante, será la de succión y el valor del coeficiente de la Zona I será negativo.

Una vez se tiene los coeficientes eólicos ya se puede calcular presión estática del viento sobre la cubierta. Para ello se necesita la expresión que se mencionó al principio de este apartado y que se recuerda a continuación:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

donde la presión dinámica y el coeficiente de exposición tienen los siguientes valores para el Caso N.1.a:

- $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$
- $c_e = C_e. N. 1 = 2,53$

Y, por lo tanto, las presiones de las zonas de influencia son:

Zonas	F	G	H	I
$q_e \text{ [kN/m}^2\text{]}$	-2,00	-1,41	-0,74	0,21

Tabla 9 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.1.a

A la hora de aplicar estas presiones se hará como cargas lineales sobre las correas, por lo que habrá que multiplicar por las distancias de separación que hay entre éstas. Cada zona tendrá una separación diferente, en este caso son 0,825 m para la primera y última correa y 0,85 m para las intermedias. Finalmente, se realiza el último paso que es multiplicar las presiones de las zonas de influencia que se acaban de hallar con las distancias que se acaban de mencionar y obtener dichas cargas lineales que se introducirán en Revit:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,70	-1,20	-0,63	0,18
	0,825	-1,65	-1,17	-0,61	0,18

Tabla 10 – Presión estática distribuida del Caso N.1.a

3.2.3.1.2 Caso N.1.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
6,00	0,93	12,20	24,40	6,00	16,04	96,24	0,08

Tabla 11 – Dimensiones del Caso N.1.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	3,00	0,60	6,00	2,40	6,00	13,04
Áreas [m ²]	0,90		1,80		14,40		78,24	

Tabla 12 – Obtención áreas de influencia Caso N.1.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,88	-1,33	-0,70	-0,20

Tabla 13 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.1.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-2,00	-1,41	-0,74	-0,21

Tabla 14 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.1.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,70	-1,20	-0,63	-0,18
	0,825	-1,65	-1,17	-0,61	-0,18

Tabla 15 – Presión estática distribuida del Caso N.1.b

3.2.3.1.3 Caso N.2.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
21,65	0,37	10,28	20,56	20,56	16,04	347,27	0,04

Tabla 16 – Dimensiones del Caso N.2.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	5,14	2,06	11,37	2,06	21,65	8,22	21,65	5,76
Áreas [m ²]	10,57		23,38		178,05		124,70	

Tabla 17 – Obtención áreas de influencia Caso N.2.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,48	-0,98	-0,70	0,20

Tabla 18 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.2.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,49	-0,98	-0,70	0,20

Tabla 19 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.2.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-4,01	-2,66	-1,90	0,54
	2,100	-3,12	-2,07	-1,48	0,42
	1,100	-1,63	-1,08	-0,77	0,22

Tabla 20 – Presión estática distribuida del Caso N.2.a

3.2.3.1.4 Caso N.2.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
21,65	0,37	10,28	20,56	20,56	16,04	347,27	0,04

Tabla 21 – Dimensiones del Caso N.2.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	$e/4$	$e/10$	$b - (2 \cdot (e/4))$	$e/10$	b	$e/2 - e/10$	b	$d - e/2$
Distancias [m]	5,14	2,06	11,37	2,06	21,65	8,22	21,65	5,76
Áreas [m ²]	10,57		23,38		178,05		124,70	

Tabla 22 – Obtención áreas de influencia Caso N.2.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,48	-0,98	-0,70	-0,20

Tabla 23 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.2.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,49	-0,98	-0,70	-0,20

Tabla 24 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.2.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-4,01	-2,66	-1,90	-0,54
	2,100	-3,12	-2,07	-1,48	-0,42
	1,100	-1,63	-1,08	-0,77	-0,22

Tabla 25 – Presión estática distribuida del Caso N.2.b

3.2.3.1.5 Caso N.3.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
5,36	0,25	8,40	16,80	5,36	17,39	93,21	0,03

Tabla 26 – Dimensiones del Caso N.3.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,33	0,54	2,68	0,54	5,36	2,14	5,36	14,71
Áreas [m ²]	0,72		1,44		11,49		78,85	

Tabla 27 – Obtención áreas de influencia Caso N.3.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,16	-1,71	-0,71	0,20

Tabla 28 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.3.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-2,05	-1,62	-0,67	0,19

Tabla 29 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.3.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,64	-1,30	-0,54	0,15
	0,700	-1,44	-1,14	-0,47	0,13

Tabla 30 – Presión estática distribuida del Caso N.3.a

3.2.3.1.6 Caso N.3.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
5,36	0,25	8,40	16,80	5,36	17,39	93,21	0,03

Tabla 31 – Dimensiones del Caso N.3.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,33	0,54	2,68	0,54	5,36	2,14	5,36	14,71
Áreas [m ²]	0,72		1,44		11,49		78,85	

Tabla 32 – Obtención áreas de influencia Caso N.3.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,16	-1,71	-0,71	-0,20

Tabla 33 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso N.3.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-2,05	-1,62	-0,67	-0,19

Tabla 34 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso N.3.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,64	-1,30	-0,54	-0,15
	0,700	-1,44	-1,14	-0,47	-0,13

Tabla 35 – Presión estática distribuida del Caso N.3.a

3.2.3.1.7 Caso S.1.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	hp [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
6,00	0,93	11,40	22,80	6,00	16,04	96,24	0,08

Tabla 36 – Dimensiones del Caso S.1.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	3,00	0,60	6,00	2,40	6,0	13,04
Áreas [m ²]	0,90		1,80		14,40		78,24	

Tabla 37 – Obtención áreas de influencia Caso S.1.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,88	-1,33	-0,70	0,20

Tabla 38 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.1.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,97	-1,39	-0,73	0,21

Tabla 39 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.1.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,67	-1,18	-0,54	0,18
	0,825	-1,62	-1,15	-0,47	0,13

Tabla 40 – Presión estática distribuida del Caso S.1.a

3.2.3.1.8 Caso S.1.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
6,00	0,93	11,40	22,80	6,00	16,04	96,24	0,08

Tabla 41 – Dimensiones del Caso S.1.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	3,00	0,60	6,00	2,40	6,0	13,04
Áreas [m ²]	0,90		1,80		14,40		78,24	

Tabla 42 – Obtención áreas de influencia Caso S.1.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,88	-1,33	-0,70	-0,20

Tabla 43 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.1.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,97	-1,39	-0,73	-0,21

Tabla 44 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.1.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,67	-1,18	-0,54	-0,18
	0,825	-1,62	-1,15	-0,47	-0,13

Tabla 45 – Presión estática distribuida del Caso S.1.b

3.2.3.1.9 Caso S.2.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
21,65	0,37	8,83	17,66	17,66	16,04	347,27	0,04

Tabla 46 – Dimensiones del Caso S.2.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	4,42	1,77	12,82	1,77	21,65	7,06	21,65	7,21
Áreas [m ²]	7,80		22,64		152,94		156,10	

Tabla 47 – Obtención áreas de influencia Caso S.2.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,55	-0,98	-0,70	0,20

Tabla 48 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.2.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,50	-0,95	-0,68	0,19

Tabla 49 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.2.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-4,04	-2,56	-1,83	0,52
	2,100	-3,14	-1,99	-1,42	0,40
	1,100	-1,65	-1,04	-0,74	0,21

Tabla 50 – Presión estática distribuida del Caso S.2.a

3.2.3.1.10 Caso S.2.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
21,65	0,37	8,83	17,66	17,66	16,04	347,27	0,04

Tabla 51 – Dimensiones del Caso S.2.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	4,42	1,77	12,82	1,77	21,65	7,06	21,65	7,21
Áreas [m ²]	7,80		22,64		152,94		156,10	

Tabla 52 – Obtención áreas de influencia Caso S.2.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,55	-0,98	-0,70	-0,20

Tabla 53 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.2.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,50	-0,95	-0,68	-0,19

Tabla 54 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.2.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-4,04	-2,56	-1,83	-0,52
	2,100	-3,14	-1,99	-1,42	-0,40
	1,100	-1,65	-1,04	-0,74	-0,21

Tabla 55 – Presión estática distribuida del Caso S.2.b

3.2.3.1.11 Caso S.3.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
5,36	0,25	6,65	13,30	5,36	17,39	93,21	0,04

Tabla 56 – Dimensiones del Caso S.3.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,34	0,54	2,68	0,54	5,36	2,14	5,36	14,71
Áreas [m ²]	0,72		1,44		11,49		78,85	

Tabla 57 – Obtención áreas de influencia Caso S.3.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,16	-1,76	-0,71	0,20

Tabla 58 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.3.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,92	-1,57	-0,63	0,18

Tabla 59 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.3.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,54	-1,25	-0,54	0,14
	0,700	-1,35	-1,10	-0,44	0,12

Tabla 60 – Presión estática distribuida del Caso S.3.a

3.2.3.1.12 Caso S.3.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
5,36	0,25	6,65	13,30	5,36	17,39	93,21	0,04

Tabla 61 – Dimensiones del Caso S.3.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,34	0,54	2,68	0,54	5,36	2,14	5,36	14,71
Áreas [m ²]	0,72		1,44		11,49		78,85	

Tabla 62 – Obtención áreas de influencia Caso S.3.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,16	-1,76	-0,71	-0,20

Tabla 63 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso S.3.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,92	-1,57	-0,63	-0,18

Tabla 64 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso S.3.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,54	-1,25	-0,54	-0,14
	0,700	-1,35	-1,10	-0,44	-0,12

Tabla 65 – Presión estática distribuida del Caso S.3.b

3.2.3.1.13 Caso O.1.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,93	9,92	19,84	6,00	6,00	96,24	0,09

Tabla 66 – Dimensiones del Caso O.1.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	13,04	0,60	16,04	2,40	16,04	3,00
Áreas [m ²]	0,90		7,82		38,50		48,12	

Tabla 67 – Obtención áreas de influencia Caso O.1.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,80	-1,42	-0,81	0,20

Tabla 68 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.1.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,81	-1,43	-0,82	0,20

Tabla 69 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.1.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,54	-1,22	-0,69	0,17
	0,825	-1,50	-1,18	-0,67	0,17

Tabla 70 – Presión estática distribuida del Caso O.1.a

3.2.3.1.14 Caso O.1.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,93	9,92	19,84	6,00	6,00	96,24	0,09

Tabla 71 – Dimensiones del Caso O.1.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	13,04	0,60	16,04	2,40	16,04	3,00
Áreas [m ²]	0,90		7,82		38,50		48,12	

Tabla 72 – Obtención áreas de influencia Caso O.1.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,80	-1,42	-0,81	-0,20

Tabla 73 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.1.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,81	-1,43	-0,82	-0,20

Tabla 74 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.1.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,54	-1,22	-0,69	-0,17
	0,825	-1,50	-1,18	-0,67	-0,17

Tabla 75 – Presión estática distribuida del Caso O.1.b

3.2.3.1.15 Caso O.2.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,37	7,33	14,66	14,66	21,65	347,27	0,05

Tabla 76 – Dimensiones del Caso O.2.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	3,67	1,47	8,71	1,47	16,04	5,86	16,04	14,32
Áreas [m ²]	5,37		12,77		94,06		229,69	

Tabla 77 – Obtención áreas de influencia Caso O.2.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,56	-0,90	-0,70	0,20

Tabla 78 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.2.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,43	-0,83	-0,64	0,18

Tabla 79 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.2.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-3,87	-2,24	-1,74	0,50
	2,100	-3,01	-1,74	-1,35	0,39
	1,100	-1,58	-0,91	-0,71	0,20

Tabla 80 – Presión estática distribuida del Caso O.2.a

3.2.3.1.16 Caso O.2.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,37	7,33	14,66	14,66	21,65	347,27	0,05

Tabla 81 – Dimensiones del Caso O.2.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	3,67	1,47	8,71	1,47	16,04	5,86	16,04	14,32
Áreas [m ²]	5,37		12,77		94,06		229,69	

Tabla 82 – Obtención áreas de influencia Caso O.2.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,56	-0,90	-0,70	-0,20

Tabla 84 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.2.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,43	-0,83	-0,64	-0,18

Tabla 83 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.2.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	2,700	-3,87	-2,24	-1,74	-0,50
	2,100	-3,01	-1,74	-1,35	-0,39
	1,100	-1,58	-0,91	-0,71	-0,20

Tabla 84 – Presión estática distribuida del Caso O.2.b

3.2.3.1.17 Caso O.3.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
17,39	0,25	6,45	12,90	5,36	5,36	93,21	0,04

Tabla 85 – Dimensiones del Caso O.3.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,34	0,54	14,71	0,54	17,39	2,14	17,39	2,68
Áreas [m ²]	0,72		7,88		37,28		46,61	

Tabla 86 – Obtención áreas de influencia Caso O.3.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,08	-1,09	-0,70	0,20

Tabla 87 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.3.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,83	-0,96	-0,62	0,18

Tabla 88 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.3.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,47	-0,77	-0,49	0,14
	0,700	-1,28	-0,67	-0,43	0,12

Tabla 89 – Presión estática distribuida del Caso O.3.a

3.2.3.1.18 Caso O.3.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
17,39	0,25	6,45	12,90	5,36	5,36	93,21	0,04

Tabla 90 – Dimensiones del Caso O.3.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,34	0,54	14,71	0,54	17,39	2,14	17,39	2,68
Áreas [m ²]	0,72		7,88		37,28		46,61	

Tabla 91 – Obtención áreas de influencia Caso O.3.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-2,08	-1,09	-0,70	-0,20

Tabla 92 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso O.3.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,83	-0,96	-0,62	-0,18

Tabla 93 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso O.3.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,800	-1,47	-0,77	-0,49	-0,14
	0,700	-1,28	-0,67	-0,43	-0,12

Tabla 94 – Presión estática distribuida del Caso O.3.a

3.2.3.1.19 Caso E.1.a

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	h _p [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,93	11,40	22,80	6,00	6,00	96,24	0,08

Tabla 95 – Dimensiones del Caso E.1.a

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2·(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	13,04	0,60	16,04	2,40	16,04	3,0
Áreas [m ²]	0,90		7,82		38,50		48,12	

Tabla 96 – Obtención áreas de influencia Caso E.1.a

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,88	-0,91	-0,70	0,20

Tabla 97 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso E.1.a

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,97	-0,95	-0,73	0,21

Tabla 98 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso E.1.a

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,67	-0,81	-0,62	0,18
	0,825	-1,62	-0,79	-0,60	0,17

Tabla 99 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a

3.2.3.1.20 Caso E.1.b

Dimensiones para el cálculo de las zonas de influencia:

b [m]	hp [m]	h [m]	2h [m]	e [m]	d [m]	A [m ²]	h _p /h
16,04	0,93	11,40	22,80	6,00	6,00	96,24	0,08

Tabla 100 – Dimensiones del Caso E.1.b

Cálculo de las áreas de las zonas de influencia:

Zonas	F		G		H		I	
Fórmulas	e/4	e/10	b - (2*(e/4))	e/10	b	e/2 - e/10	b	d - e/2
Distancias [m]	1,50	0,60	13,04	0,60	16,04	2,40	16,04	3,0
Áreas [m ²]	0,90		7,82		38,50		48,12	

Tabla 101 – Obtención áreas de influencia Caso E.1.b

Valores obtenidos de los coeficientes eólicos de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
C _{pe} , A	-1,88	-0,91	-0,70	-0,20

Tabla 102 – Coeficientes Eólicos de las zonas de influencia del Caso E.1.b

Presiones estáticas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	F	G	H	I
q _e [kN/m ²]	-1,97	-0,95	-0,73	-0,21

Tabla 103 – Presión estática de las zonas de influencia del Caso E.1.b

Presiones estáticas distribuidas obtenidas de las zonas de influencia:

Zonas	Valor [m]	F [kN/m]	G [kN/m]	H [kN/m]	I [kN/m]
Áreas de Influencia	0,850	-1,67	-0,81	-0,62	-0,18
	0,825	-1,62	-0,78	-0,60	-0,17

Tabla 104 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a

3.2.3.2 Coeficiente de presión exterior o eólico de los laterales

En el caso de la acción del viento en los laterales de la construcción, al ser un edificio con forjados conectados a las fachadas a intervalos regulares, el Documento Básico de Acciones en la Edificación dice que bastará considerar los coeficientes eólicos globales a barlovento y sotavento, aplicando la acción del viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la dirección del viento.

El Documento Básico dice que se podrán adoptar los coeficientes eólicos de la siguiente tabla según la esbeltez en el plano paralelo al viento:

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Tabla 105 – Coeficientes eólicos para edificios con forjados

La codificación de los casos sigue la misma regla que los coeficientes de exposición y que los coeficientes eólicos de la cubierta. Tal y como se hizo con estos que se acaban de mencionar, también se va a desarrollar el procedimiento de cómo se obtiene el coeficiente eólico de los laterales en uno de los casos y, seguidamente, la presión estática del viento, pero para el resto de los casos solamente se adjuntarán los resultados finales.

3.2.3.2.1 Caso N.1

Lo primero será calcular la esbeltez de la edificación según el plano paralelo a la dirección Norte, para ello será de ayuda los esquemas de la división por zonas que se utilizó anteriormente en los que se indicaban las alturas según la orientación y las acotaciones de dichas zonas. Para este caso se tiene que:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{13,13}{16,04} \approx 0,8186$$

En la tabla anterior, se observa que hay valores de los coeficientes para esbelteces iguales a 0,75 y 1,00, por lo que habrá que interpolar. Interpolando linealmente, tal y como se hizo para los cocientes de alturas en los coeficientes eólicos de la cubierta, se obtienen los siguientes resultados:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,8$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,427$

Una vez se haya obtenido los coeficientes, se procede a calcular la presión estática:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,53 \cdot 0,8 \approx 0,85 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,49 \cdot (-0,427) \approx -0,45 \text{ kN/m}^2$

Hay que comentar que los coeficientes de exposición que se han utilizado son los respectivos a la superficie en la que se calcula la presión estática, es decir, para la presión estática a barlovento se utiliza $c_e = 2,53$ debido a su altura de 13,13 m, y para la superficie a sotavento se utiliza $c_e = 2,49$ debido su altura de 12,33 m.

A la hora de aplicar estas presiones se hará como cargas lineales sobre los pilares de cada lado, por lo que habrá que multiplicar por las distancias de separación que hay entre éstos. Cada zona tendrá una separación diferente, en este caso son 3 m para el primer y último pilar y 6 m para los intermedios. Finalmente, se realiza el último paso que es multiplicar las presiones estáticas que se acaban de hallar por las distancias que se acaban de mencionar y obtener dichas cargas lineales que se introducirán en Revit:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	5,10	-2,68
	3,00	2,55	-1,34

Tabla 106 – Presión estática distribuida del Caso N.1

3.2.3.2.2 Caso N.2

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{10,65}{16,04} \approx 0,664$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p \approx 0,77$
- Coeficiente de succión: $C_s = -0,4$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_{ep} \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,39 \cdot 0,77 \approx 0,77 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_{es} \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,3 \cdot (-0,4) \approx -0,39 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,39$ y $c_{es} = 2,3$ los correspondientes a las alturas 10,65 m y 9,2 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	4,00	3,09	-1,55
	2,00	1,55	-0,77

Tabla 107 – Presión estática distribuida del Caso N.2

3.2.3.2.3 Caso N.3

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{8,65}{17,39} \approx 0,4974$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,4$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,26 \cdot 0,7 \approx 0,67 \text{ kN/m}^2$

$$- q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,12 \cdot (-0,4) \approx -0,36 \text{ kN/m}^2$$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,26$ y $c_{es} = 2,12$ los correspondientes a las alturas 8,65 m y 6,9 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	5,50	3,65	-1,96
	2,75	1,83	-0,98

Tabla 108 – Presión estática distribuida del Caso N.3

3.2.3.2.4 Caso S.1

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{12,33}{16,04} \approx 0,7687$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,8$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,407$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,49 \cdot 0,8 \approx 0,84 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,53 \cdot (-0,407) \approx -0,44 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,49$ y $c_{es} = 2,53$ los correspondientes a las alturas 12,33 m y 13,13 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	4,82	-2,59
	3,00	2,41	-1,30

Tabla 109 – Presión estática distribuida del Caso S.1

3.2.3.2.5 Caso S.2

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{9,2}{16,04} \approx 0,5736$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p \approx 0,73$
- Coeficiente de succión: $C_s = -0,4$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,3 \cdot 0,73 \approx 0,71 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,39 \cdot (-0,4) \approx -0,41 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,3$ y $c_{es} = 2,39$ los correspondientes a las alturas 9,2 m y 10,65 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	4,00	2,82	-1,61
	2,00	1,41	-0,80

Tabla 110 – Presión estática distribuida del Caso S.2

3.2.3.2.6 Caso S.3

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{6,9}{17,39} \approx 0,3968$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,36$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,12 \cdot 0,7 \approx 0,63 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,26 \cdot (-0,36) \approx -0,35 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,12$ y $c_{es} = 2,26$ los correspondientes a las alturas 6,9 m y 8,65 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	5,50	3,43	-1,88
	2,75	1,71	-0,94

Tabla 111 – Presión estática distribuida del Caso S.3

3.2.3.2.7 Caso O.1

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{10,85}{6} \approx 1,8083$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,8$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,615$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,4 \cdot 0,8 \approx 0,81 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,49 \cdot (-0,615) \approx -0,65 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,40$ y $c_{es} = 2,49$ los correspondientes a las alturas 10,83 m y 12,33 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	4,84	-3,86
	3,00	2,42	-1,93

Tabla 112 – Presión estática distribuida del Caso O.1

3.2.3.2.8 Caso O.2

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{7,7}{27,65} \approx 0,2785$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,312$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,19 \cdot 0,7 \approx 0,65 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,49 \cdot (-0,312) \approx -0,33 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,19$ y $c_{es} = 2,40$ los correspondientes a las alturas 10,65 m y 9,2 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	4,00	2,58	-1,30
	2,00	1,29	-0,65

Tabla 113 – Presión estática distribuida del Caso O.2

3.2.3.2.9 Caso O.3

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{6,7}{33,01} \approx 0,203$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s = -0,3$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,1 \cdot 0,7 \approx 0,62 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,49 \cdot (-0,3) \approx -0,32 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,1$ y $c_{es} = 2,49$ los correspondientes a las alturas 6,7 m y 12,33 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	3,70	-1,88
	3,00	1,85	-0,94

Tabla 114 – Presión estática distribuida del Caso O.3

3.2.3.2.10 Caso E.1.a

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{12,33}{6} \approx 2,055$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,8$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,622$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,49 \cdot 0,8 \approx 0,84 \text{ kN/m}^2$

$$- q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,4 \cdot (-0,622) \approx -0,63 \text{ kN/m}^2$$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,49$ y $c_{es} = 2,4$ los correspondientes a las alturas 12,33 m y 10,83 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	5,02	-3,76
	3,00	2,51	-1,88

Tabla 115 – Presión estática distribuida del Caso E.1.a

3.2.3.2.11 Caso E.1.b

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{12,33}{27,65} \approx 0,446$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,378$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{ep} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,49 \cdot 0,7 \approx 0,74 \text{ kN/m}^2$
- $q_{es} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,19 \cdot (-0,378) \approx -0,35 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{ep} = 2,49$ y $c_{es} = 2,19$ los correspondientes a las alturas 12,33 m y 7,7 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	4,39	-2,09
	3,00	2,20	-1,04

Tabla 116 – Presión estática distribuida del Caso E.1.b

3.2.3.2.12 Caso E.1.c

La esbeltez es:

$$Esbeltez = \frac{h}{d} = \frac{12,33}{33,01} \approx 0,3735$$

Los coeficientes son:

- Coeficiente de presión: $C_p = 0,7$
- Coeficiente de succión: $C_s \approx -0,349$

Las presiones estáticas que se obtienen son:

- $q_{e_p} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,42 \cdot 2,49 \cdot 0,7 \approx 0,74 \text{ kN/m}^2$
- $q_{e_s} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,42 \cdot 2,1 \cdot (-0,349) \approx -0,31 \text{ kN/m}^2$

Siendo los coeficientes de exposición $c_{e_p} = 2,49$ y $c_{e_s} = 2,1$ los correspondientes a las alturas 12,33 m y 6,7 m, respectivamente.

Las presiones estáticas distribuidas son:

Presión Distribuida	Valor [m]	Presión [kN/m]	Succión [kN/m]
Áreas de Influencia	6,00	4,39	-1,85
	3,00	2,20	-0,92

Tabla 117 – Presión estática distribuida del Caso E.1.c

3.3 Acciones térmicas

Las edificaciones y los elementos estructurales que la componen pueden verse sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de temperatura ambiente exterior. La magnitud de dichas variaciones depende de las condiciones climáticas del lugar, de la orientación y exposición de la edificación, de los materiales constructivos y del aislamiento térmico, entre otras cosas.

Con ayuda del Anejo E del Documento Básico de Acciones en la Edificación puede obtenerse las temperaturas ambiente extremas, tanto de verano como de invierno. Dicho Anejo dice que el valor característico de la temperatura máxima del aire puede tomarse, independientemente de la altitud, como el valor limite superior del intervalo reflejado en el siguiente mapa de isotermas:

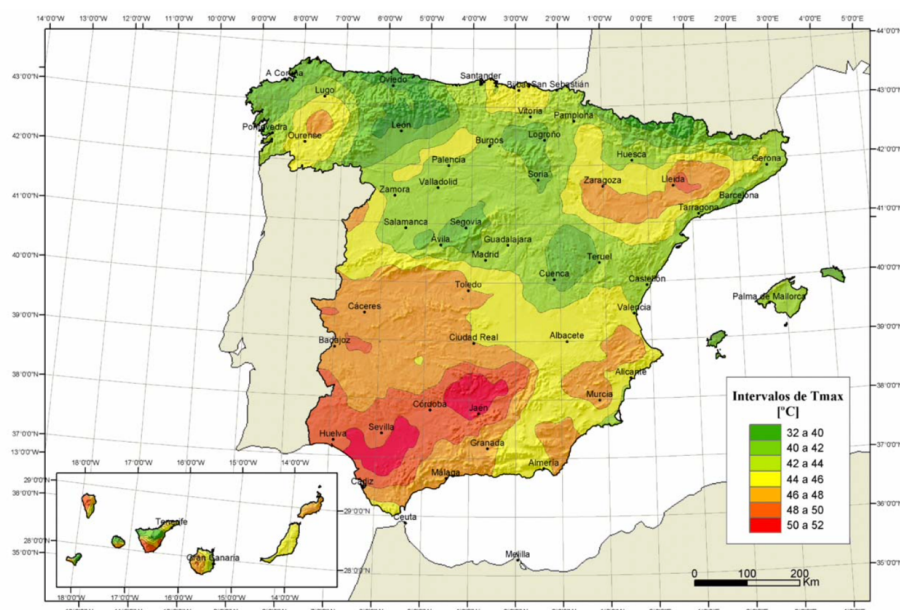


Ilustración 4 – Mapa de isotermas de la temperatura anual máxima del aire en °C

Al encontrarse la edificación del presente proyecto en la ciudad de Sevilla, el valor característico de la temperatura máxima del aire es de 50°.

En cambio, para hallar el valor característico de la temperatura mínima del aire primero ha de mirarse en qué zona climática de invierno se encuentra ubicada la edificación en el siguiente mapa:



Ilustración 5 – Mapa de zonas climáticas de invierno

Sabiendo que se halla en la ZONA 6, según el Documento Básico, se puede tomar como valor característico de la temperatura mínima del aire exterior el de la siguiente tabla, el cual está en función de la altitud del emplazamiento y de la zona climática invernal obtenido del mapa anterior.

Altitud (m)	Zona de clima invernal						
	1	2	3	4	5	6	7
0	-7	-11	-11	-6	-5	-6	6
200	-10	-13	-12	-8	-8	-8	5
400	-12	-15	-14	-10	-11	-9	3
600	-15	-16	-15	-12	-14	-11	2
800	-18	-18	-17	-14	-17	-13	0
1.000	-20	-20	-19	-16	-20	-14	-2
1.200	-23	-21	-20	-18	-23	-16	-3
1.400	-26	-23	-22	-20	-26	-17	-5
1.600	-28	-25	-23	-22	-29	-19	-7
1.800	-31	-26	-25	-24	-32	-21	-8
2.000	-33	-28	-27	-26	-35	-22	-10

Tabla 118 – Temperatura mínima del aire exterior en °C

La ciudad de Sevilla se encuentra a una altura de 10 m y en una Zona 6, tal y como se ha mencionado anteriormente, por lo que el valor característico de la temperatura mínima del aire se toma igual a -6°.

3.4 Nieve

La distribución y la intensidad de la carga de nieve sobre un edificio, o en particular sobre una cubierta, depende del clima del lugar, del tipo de precipitación, del relieve del entorno, de la forma del edificio o de la cubierta, de los efectos del viento, y de los intercambios térmicos en los paramentos exteriores.

Para cubiertas ligeras el Documento Básico dice que se puede tomar como valor de carga de nieve por unidad de superficie en proyección horizontal el que se obtiene de la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot S_k$$

siendo:

- q_n , el valor de la carga de nieve por unidad de superficie.
- μ , coeficiente de forma de la cubierta.
- S_k , el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal.

El valor de S_k se obtiene de la siguiente tabla que aparece en el Documento Básico:

Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²	Capital	Altitud m	S_k kN/m ²
Albacete	690	0,6	Guadalajara	680	0,6	Pontevedra	0	0,3
Alicante / Alacant	0	0,2	Huelva	0	0,2	Salamanca	780	0,5
Almería	0	0,2	Huesca	470	0,7	SanSebas-	0	0,3
Ávila	1.130	1,0	Jaén	570	0,4	tián/Donostia	0	0,3
Badajoz	180	0,2	León	820	1,2	Santander	1.000	0,7
Barcelona	0	0,4	Lérida / Lleida	150	0,5	Segovia	10	0,2
Bilbao / Bilbo	0	0,3	Logroño	380	0,6	Sevilla	1.090	0,2
Burgos	860	0,6	Lugo	470	0,7	Soria	0	0,9
Cáceres	440	0,4	Madrid	660	0,6	Tarragona	0	0,4
Cádiz	0	0,2	Málaga	0	0,6	Tenerife	950	0,2
Castellón	0	0,2	Murcia	40	0,2	Teruel	550	0,9
Ciudad Real	640	0,6	Orense / Ourense	130	0,2	Toledo	0	0,5
Córdoba	100	0,2	Oviedo	230	0,4	Valencia/València	690	0,2
Coruña / A Coruña	0	0,3	Palencia	740	0,5	Valladolid	520	0,4
Cuenca	1.010	1,0	Palma de Mallorca	0	0,4	Vitoria / Gasteiz	650	0,7
Gerona / Girona	70	0,4	Palmas, Las	0	0,2	Zamora	210	0,4
Granada	690	0,5	Pamplona/Iruña	450	0,2	Zaragoza	0	0,5
					0,7	Ceuta y Melilla		0,2

Tabla 119 – Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas

Al ser Sevilla Capital, el valor característico de la carga de nieve sobre un terreno horizontal tiene un valor igual a $S_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$. En cuanto al valor del coeficiente de forma, como la pendiente de las cubiertas de la edificación es menor de 30° , su valor será $\mu = 1$. Por tanto, el valor de la carga de nieve por unidad de superficie es:

$$q_n = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

Esto se confirma si se va al final del Anejo E del Documento Básico, en el cual se adjunta la siguiente tabla con la sobrecarga de nieve según la altitud y la zona de clima invernal en la que se encuentre la construcción:

Altitud (m)	Zona de clima invernal						
	1	2	3	4	5	6	7
0	0,3	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
200	0,5	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
400	0,6	0,6	0,2	0,3	0,4	0,2	0,2
500	0,7	0,7	0,3	0,4	0,4	0,3	0,2
600	0,9	0,9	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2
700	1,0	1,0	0,4	0,6	0,6	0,5	0,2
800	1,2	1,1	0,5	0,8	0,7	0,7	0,2
900	1,4	1,3	0,6	1,0	0,8	0,9	0,2
1.000	1,7	1,5	0,7	1,2	0,9	1,2	0,2
1.200	2,3	2,0	1,1	1,9	1,3	2,0	0,2
1.400	3,2	2,6	1,7	3,0	1,8	3,3	0,2
1.600	4,3	3,5	2,6	4,6	2,5	5,5	0,2
1.800	-	4,6	4,0	-	-	9,3	0,2
2.200	-	8,0	-	-	-	-	-

Tabla 120 – Sobrecarga de nieve en un terreno horizontal [kN/m²]

Como se ha mencionado en el apartado de acciones térmicas, Sevilla se encuentra en una zona de clima invernal 6 y, al encontrarse a una altitud de 10 m, la sobrecarga de nieve según la tabla anterior es 0,2 kN/m², confirmando lo mencionado anteriormente.

4 ACCIONES ACCIDENTALES

En el presente capítulo se exponen las acciones que actúan de forma accidental sobre el edificio del actual proyecto.

4.1 Sismo

Para acciones sísmicas el Documento Básico de Acciones en la Edificación indica que la normativa que las regula es la NCSE-02, es decir, la Normativa de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación. Dicha Norma proporciona un método simplificado, el cual modeliza la acción sísmica como un conjunto de fuerzas estáticas equivalentes a las fuerzas de inercia y que se aplicarán a la estructura a nivel de cada planta.

El modelo de la estructura que se va a utilizar en este apartado para calcular la acción sísmica es el que se viene utilizando hasta ahora, es decir, dividiendo la edificación en 3 partes:

- Zona 1: Altar
- Zona 2: Bancos
- Zona 3: Entrada

Cada zona se estudiará independientemente como un modelo unidimensional constituido por un oscilador múltiple de un solo grado de libertad de desplazamiento por planta.

El análisis mediante este método consistirá en un sistema de fuerzas horizontales equivalentes al de un terremoto y para definir dichas fuerzas se ha de seguir todos los apartados de la Norma tal y como se indica.

4.1.1 Modos de vibración

Para saber el número de modos de vibración que se necesitan considerar ha de calcularse primero el periodo fundamental de la construcción, T_F . La Norma ofrece distintos tipos de edificios con una estimación del periodo fundamental para cada uno. El caso de la edificación del actual proyecto es el de un edificio de pórticos rígidos de acero laminado, por lo que la fórmula para hallar el periodo fundamental es:

$$T_F = 0,11n$$

siendo n el número de plantas sobre rasante. Por lo tanto, para los 3 modelos en los que se divide la construcción:

- $T_{F1} = 0,22$ s.
- $T_{F2} = 0,22$ s.
- $T_{F3} = 0,33$ s.

En los 3 casos el periodo fundamental es menor de 0,75 segundos, por lo que solo se ha de considerar el primer modo de vibración para los 3 modelos.

Hay que comentar que para las 3 zonas se ha tomado como número de plantas sobre rasante: 2, 2 y 3, respectivamente. Esto es una más de las que se observan durante el proyecto, pero se ha de considerar la posibilidad de que se quiera habilitar una planta más por debajo de la planta acceso en algún momento durante la vida útil de la construcción.

4.1.2 Aceleración sísmica de cálculo

La aceleración sísmica de cálculo, a_c , se define como:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$$

donde:

- a_b , es la aceleración sísmica básica.
- ρ , es el coeficiente adimensional de riesgo.
- S , es el coeficiente de amplificación del terreno.

Se obtiene a continuación cada una de las variables necesarias para obtener la aceleración sísmica de cálculo.

4.1.2.1 Aceleración sísmica básica

Esta aceleración es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno y se encuentra expresado con relación al valor de la gravedad, g . La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define mediante el mapa de peligrosidad sísmica de la Ilustración 6, donde se obtiene que para la ciudad de Sevilla:

$$a_b = 0,07g$$

De este mismo mapa se puede obtener el coeficiente de contribución, K , el cual tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

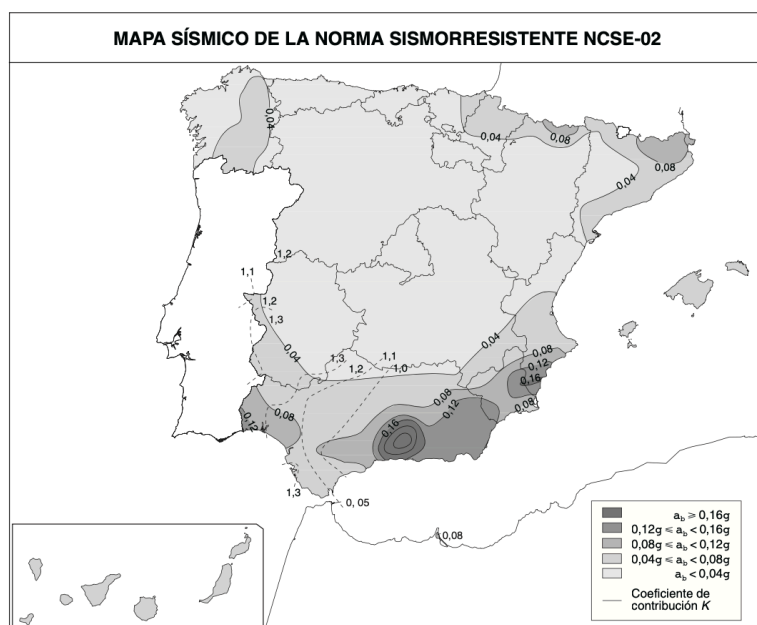


Ilustración 6 – Mapa de Peligrosidad Sísmica

4.1.2.2 Coeficiente adimensional de riesgo

El valor de este coeficiente es función de la probabilidad aceptable de que se exceda de a_c en el periodo de vida para el que está proyectada la construcción. Puede tomar los siguientes valores:

- Construcciones de importancia normal, $\rho = 1,00$.
- Construcciones de importancia especial, $\rho = 1,30$.

Para el caso de la construcción del actual proyecto, al ser una capilla en un colegio se toma de importancia especial.

4.1.2.3 Coeficiente de amplificación del terreno

El valor de este coeficiente depende del producto de la aceleración sísmica básica por el coeficiente adimensional del riesgo. Como $\rho a_b \leq 0,1g$, el coeficiente de amplificación del terreno toma el valor:

$$S = \frac{C}{1,25}$$

Siendo C el coeficiente del terreno, el cual depende de las características geotécnicas del terreno de cimentación. Para saber el valor de este coeficiente se necesita saber el tipo de terreno de la ubicación donde se va a realizar la construcción. A partir de un estudio geotécnico de la zona se sabe que es un terreno tipo III, es decir, un suelo granular de compacidad media, donde la velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla están entre 400 y 200 m/s. En este tipo de terrenos el coeficiente de terreno es $C = 1,6$. Por lo tanto:

$$S = \frac{C}{1,25} = \frac{1,6}{1,25} = 1,28$$

Una vez que se han calculado todas las variables necesarias se puede obtener el valor de la aceleración sísmica de cálculo mediante la expresión que se mencionó anteriormente:

$$a_c = S \cdot \rho \cdot a_b = 1,28 * 1,3 * 0,07g = 0,11648g \text{ m/s}^2$$

4.1.3 Cálculo de la Fuerza Sísmica

La fuerza sísmica estática equivalente, F_{ik} , es la correspondiente a la planta k en el modo de vibración i . En el caso de la estructura del actual proyecto solo se considera el primero modo, por lo que se la fuerza vendrá dada por:

$$F_{1k} = s_{1k} \cdot P_k$$

donde:

- P_k , es el peso correspondiente a la masa, m_k , de la planta k .
- s_{1k} , es el coeficiente sísmico adimensional correspondiente a la planta k en el primer modo de vibración. Tiene el siguiente valor:

$$s_{1k} = (a_c/g) \cdot \alpha_i \cdot \beta \cdot \eta_{1k}$$

siendo:

- a_c , la aceleración sísmica de cálculo, la cual se determinó anteriormente.
- g , la aceleración de la gravedad.

- β , el coeficiente de respuesta.
- η_{1k} , el factor de distribución correspondiente a la planta k en el primer modo de vibración.
- α_i , el coeficiente de valor:

$$1. \quad \alpha_i = 2,5 \quad \text{si } T_i \leq T_B$$

$$2. \quad \alpha_i = 2,5 \cdot (T_B/T_i) \quad \text{si } T_i > T_B$$

siendo a su vez:

- T_i , el periodo del modo i a considerar, el cual será el primero en este caso.

- T_B , el periodo característico del espectro.

Se procede a continuación a obtener los coeficientes y factores necesarios para poder calcular la fuerza sísmica estática equivalente de cada parte del edificio.

4.1.3.1 Coeficiente α_i

Para hallar dicho coeficiente es necesario conocer el periodo característico del espectro, el cual se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$T_B = \frac{K \cdot C}{2,5} = \frac{1,1 \cdot 1,6}{2,5} = 0,704 \text{ s}$$

Como se puede observar, tanto para la parte 1 y 2 del edificio, que tienen el mismo periodo fundamental $T_{F1} \equiv T_{F2} = 0,22 \text{ s}$, como para el de la parte 3 del edificio, cuyo periodo fundamental es $T_{F3} = 0,33 \text{ s}$, su periodo es menor que el característico del espectro, T_B , por lo que el valor del coeficiente α_i es:

$$\alpha_i = 2,5$$

4.1.3.2 Coeficiente de respuesta β

Para el coeficiente de respuesta la Norma facilita la siguiente tabla en la que aparecen los casos más frecuentes de edificaciones con su correspondiente coeficiente, basándose en la función del tipo de estructura, de la compartimentación de las plantas, del amortiguamiento y del coeficiente de comportamiento de ductilidad.

Tipo de estructura	Compartimentación de las plantas	Ω (%)	Coeficiente de comportamiento por ductilidad			Sin ductilidad ($\mu = 1$)
			$\mu = 4$	$\mu = 3$	$\mu = 2$	
Hormigón armado o acero laminado	Diáfana	4	0,27	0,36	0,55	1,09
	Compartimentada	5	0,25	0,33	0,50	1,00
Muros y tipo similares	Compartimentada	6	—	—	0,46	0,93

Tabla 121 – Coeficiente de respuesta β

En esta clasificación se va a estudiar las partes de la edificación por separado, ya que cada una tiene unas características algo diferente en comparación con las otras.

4.1.3.2.1 Zona 1: Altar

El tipo de estructura es igual para los 3 subedificios, es un edificio de acero laminado y, exclusivamente para esta zona, se tiene una compartimentación de las plantas diáfana, por lo que el amortiguamiento será $\Omega = 4\%$.

Para el coeficiente de comportamiento por ductilidad la Norma ofrece distintos modelos de cálculo en función de la organización estructural y de los materiales empleados, asociado a un coeficiente distinto cada uno de ellos. En el caso de la actual edificación, concretamente en esta zona, se tendrá una ductilidad alta ($\mu = 3$), ya que la resistencia a acciones horizontales se consigue principalmente mediante diagonales metálicas a tracción, es decir, en cruces de San Andrés. Por tanto, el coeficiente de respuesta para esta parte de la edificación será:

$$\beta = 0,36$$

4.1.3.2.2 Zona 2: Bancos

Como se ha comentado para el tipo de estructura de la zona Altar, la estructura entera es un edificio de acero laminado y, también en este caso, tiene una compartimentación de las plantas diáfana, siendo el mismo amortiguamiento que antes, $\Omega = 4\%$.

En este caso, el coeficiente de comportamiento por ductilidad cambia, ya que la edificación en esta zona resiste las acciones horizontales principalmente a través de diagonales que trabajan a alternativamente a tracción y a compresión, concretamente arriostramientos en forma de “V”, por lo que se tiene una ductilidad baja ($\mu = 2$). Por tanto, el coeficiente de respuesta de esta parte del edificio es:

$$\beta = 0,55$$

4.1.3.2.3 Zona 3: Entrada

Aquí nuevamente es un tipo de estructura de acero laminado, pero a diferencia de las dos zonas anteriores, en este caso la compartimentación de las plantas no es diáfana, sino compartimentada.

El coeficiente de comportamiento por ductilidad no cambia respecto a la Zona 1, se considera que la edificación es del mismo tipo ya que resiste las acciones horizontales mediante cruces de San Andrés también. Por lo tanto, el coeficiente de respuesta para esta parte del edificio es:

$$\beta = 0,33$$

4.1.3.3 Factor de distribución η_{1k}

El factor de distribución correspondiente a la planta k del primer modo de vibración tiene el siguiente valor:

$$\eta_{1k} = \Phi_{1k} \frac{\sum_{k=1}^n m_k \Phi_{1k}}{\sum_{k=1}^n m_k \Phi_{1k}^2} \xrightarrow{\text{simplificando por } g} \eta_{1k} = \Phi_{1k} \frac{\sum_{k=1}^n P_k \Phi_{1k}}{\sum_{k=1}^n P_k \Phi_{1k}^2}$$

siendo:

- n , el número de plantas.
- m_k , la masa de la planta k .
- P_k , el peso de la planta k .
- Φ_{1k} , el coeficiente de forma de la planta k en el primer modo de vibración, el cual toma la siguiente expresión:

$$\Phi_{1k} = \sin \left[\frac{\pi h_k}{2H} \right]$$

donde:

- h_k , es la altura sobre rasante de la planta k .
- H , es la altura total de la estructura del edificio.

El estudio de la acción sísmica se está realizando a cada parte de la edificación por separado, tal y como se ha comentado, por lo que el factor de distribución también se realizará así. Los valores de los pesos y, por tanto, de los coeficientes varían para cada planta y zona, recogiendo dichos los valores en las siguientes tablas para parte de la edificación:

4.1.3.3.1 Zona 1: Altar

Planta	P_k	h_k	Φ_{1k}	Φ_{1k}^2	$P_k \Phi_{1k}$	$P_k \Phi_{1k}^2$	η_{1k}
Cubierta Altar	331,885	13,880	0,994	0,989	330,037	328,200	1,739
Altar	1802,045	3,400	0,351	0,123	632,990	222,345	0,614
					963,027	550,545	

Tabla 122 – Factor de distribución Zona 1: Altar

4.1.3.3.2 Zona 2: Bancos

Planta	P_k	h_k	Φ_{1k}	Φ_{1k}^2	$P_k \Phi_{1k}$	$P_k \Phi_{1k}^2$	η_{1k}
Cubierta Bancos	858,194	10,650	0,989	0,979	848,932	839,769	1,618
Bancos	4239,814	3,400	0,439	0,193	1861,442	817,245	0,718
					2710,373	1657,014	

Tabla 123 – Factor de distribución Zona 2: Bancos

4.1.3.3.3 Zona 3: Entrada

Planta	P_k	h_k	Φ_{1k}	Φ_{1k}^2	$P_k \Phi_{1k}$	$P_k \Phi_{1k}^2$	η_{1k}
Cubierta Entrada	230,480	9,650	0,987	0,974	227,509	224,577	1,310
Planta Coro	1314,930	7,150	0,865	0,748	1137,158	983,420	1,147
Entrada	1358,975	3,400	0,477	0,227	647,720	308,719	0,632
					2012,387	1516,716	

Tabla 124 – Factor de distribución Zona 3: Entrada

Una vez calculado el factor de distribución, ya se puede hallar el coeficiente sísmico adimensional y, por tanto, la fuerza sísmica equivalente de cada planta y zona del edificio. Por lo tanto, dividiendo por las partes del edificio se obtiene a continuación la fuerza equivalente de cada planta:

4.1.3.4 Fuerza sísmica de la Zona 1: Altar

Planta	a_c/g	α	β	η_{1k}	s_{1k}	$F_{1k} [kN]$
Cubierta Altar	0,11648	2,5	0,36	1,739	0,182	60,521
Altar	0,11648	2,5	0,36	0,614	0,064	116,074

Tabla 125 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 1: Altar

4.1.3.5 Fuerza sísmica de la Zona 2: Bancos

Planta	a_c/g	α	β	η_{1k}	s_{1k}	$F_{1k} [kN]$
Cubierta Altar	0,11648	2,5	0,55	1,618	0,252	222,397
Altar	0,11648	2,5	0,55	0,718	0,115	487,648

Tabla 126 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 2: Bancos

4.1.3.6 Fuerza sísmica de la Zona 3: Entrada

Planta	a_c/g	α	β	η_{1k}	s_{1k}	$F_{1k} [kN]$
Cubierta Entrada	0,11648	2,5	0,33	1,310	0,126	29,008
Planta Coro	0,11648	2,5	0,33	1,147	0,110	144,989
Entrada Norte	0,11648	2,5	0,33	0,632	0,061	82,585

Tabla 127 – Fuerza sísmica equivalente de la Zona 3: Entrada

Las fuerzas sísmicas que se acaban de calcular se repartirán entre los elementos resistentes de cada planta y zona, es decir, de los pilares. Además, se hará para cada una de las direcciones de la estructura.

4.1.4 Reparto de las Fuerzas sísmicas equivalentes

Como se explicaba al principio de este apartado, las fuerzas F_k constituyen el sistema equivalente de acciones sísmicas de cálculo que permiten realizar un análisis completo a la estructura en una dirección considerada. Estas fuerzas han de repartirse entre los elementos resistentes de tal forma que haya un equilibrio en cada planta, por lo que se va a calcular una fuerza horizontal en cada uno de esos elementos de la siguiente forma:

$$f_{kj} = F_k \frac{K_{kj}}{\sum_{j=1}^n K_{kj}}$$

siendo:

- f_{kj} , la fuerza horizontal del elemento j de la planta k .
- K_{kj} , la rigidez del elemento resistente j de la planta k y en la dirección considerada.

Teniendo ya calculadas las F_k de cada planta, tan solo se necesitaría conocer la rigidez de cada pilar para obtener dicha fuerza horizontal. Para ello se va a suponer que la rigidez depende solamente de la inercia de cada elemento. Siendo así, ahora solo haría falta conocer dichos valores, los cuales se van a considerar igual a “I” para los elementos resistentes de las esquinas, “2I” para los de fachada y “3I” para los interiores. De esta manera se realiza una aproximación precisa y sin necesidad de calcular tantos valores de inercias.

La Norma dice que para edificios de distribución homogénea de muros o soportes y de las masas, se deberán tener en cuenta las solicitaciones debidas a excentricidades adicionales multiplicando las fuerzas F_k ya calculadas por el siguiente factor definido para cada uno de los elementos resistentes:

$$\gamma_a = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e}$$

siendo:

- x , la distancia del elemento resistente al centro del edificio, siendo esta medida perpendicular a la dirección de la acción sísmica considerada.
- L_e , la distancia entre los elementos resistentes más extremos, siendo esta distancia medida de la misma forma que la anterior.

A continuación, se va a realizar el reparto de las fuerzas sísmicas equivalentes en cada una de las plantas de cada zona.

4.1.4.1 Reparo de fuerza sísmica equivalente en la Zona 1: Altar

4.1.4.1.1 Planta Acceso Zona Altar

Se va a realizar la repartición de las fuerzas sísmicas equivalentes de esta zona a modo ejemplo del procedimiento a seguir, pero para los siguientes casos se van a poner los resultados directamente.

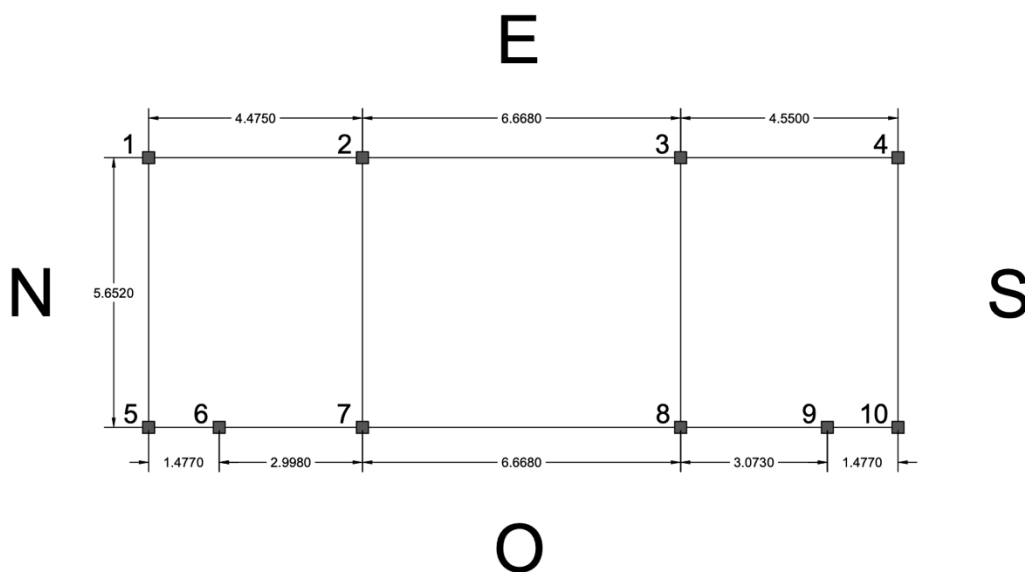


Ilustración 7 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso de la Zona Altar

Como se ha venido diciendo, se realizará un reparto de las fuerzas sísmicas equivalentes para las dos direcciones posibles, Este-Oeste y Norte-Sur, los cuales se llamarán a partir de ahora Caso A y Caso B, respectivamente

4.1.4.1.1.1 Caso A

Para este caso se puede hacer una división de dos tipos de pórticos, los exteriores y los interiores. Lo primero que se hará es calcular el factor de excentricidad:

- Pórticos 1-5 y 4-10: $\gamma_{a_{1-5}} \equiv \gamma_{a_{4-10}} = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0,6 \frac{7,8465}{15,6930} = 1,30$

- Pórtico 2-7: $\gamma_{a_{2-7}} = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0,6 \frac{3,3715}{15,6930} = 1,13$
- Pórtico 3-8: $\gamma_{a_{3-8}} = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0,6 \frac{3,2965}{15,6930} = 1,13$
- Pórtico 6 y 9: $\gamma_{a_6} \equiv \gamma_{a_9} = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0,6 \frac{6,3695}{15,6930} = 1,24$

Lo siguiente es ver la rigidez que tiene cada pórtico, que como se comentó antes, ésta dependía solamente de la inercia, por lo que:

- Para los pórticos exteriores será $2I$, ya que son dos pilares en esquina y cada uno tiene una inercia I .
- Para los pórticos interiores será $4I$, ya que son dos pilares de fachada y cada uno tiene una inercia $2I$.

Siendo el total de inercia en la planta $16I$. Sabiendo esto, ya se puede calcular las fuerzas que se van a aplicar sobre cada elemento resistente:

- $f_{1-5} \equiv f_{4-10} = F_a \cdot \gamma_{a_{1-5}} \cdot \frac{2I}{16I} = 116,074 \cdot 1,30 \cdot \frac{2}{16} = 18,86 \text{ kN}$
- $f_{2-7} = F_a \cdot \gamma_{a_{2-7}} \cdot \frac{4I}{16I} = 116,074 \cdot 1,13 \cdot \frac{4}{16} = 32,76 \text{ kN}$
- $f_{3-8} = F_a \cdot \gamma_{a_{3-8}} \cdot \frac{4I}{16I} = 116,074 \cdot 1,13 \cdot \frac{4}{16} = 32,68 \text{ kN}$
- $f_6 \equiv f_9 = F_a \cdot \gamma_{a_6} \cdot \frac{2I}{16I} = 116,074 \cdot 1,24 \cdot \frac{2}{16} = 18,04 \text{ kN}$

4.1.4.1.1.2 Caso B

Para este caso ambos pórticos serán exteriores, por lo que tendrán el mismo factor de excentricidad:

$$\gamma_{a_{1-4}} \equiv \gamma_{a_{5-10}} = 1 + 0,6 \frac{x}{L_e} = 1 + 0,6 \frac{2,826}{5,652} = 1,30$$

En cambio, el número de elementos resistentes no es el mismo, por lo que no tendrán la misma rigidez, es decir, el pórtico 1-4 tendrá una inercia igual a $6I$, mientras que la del 5-10 será igual a $10I$.

Siendo el total de inercia el mismo que antes, por tanto, ya se puede calcular las fuerzas que se han de aplicar en los elementos resistentes, las cuales serán para cada pórtico:

- $f_{1-4} = F_b \cdot \gamma_{a_{1-4}} \cdot \frac{6I}{16I} = 116,074 \cdot 1,30 \cdot \frac{6}{16} = 56,59 \text{ kN}$
- $f_{5-10} = F_b \cdot \gamma_{a_{5-10}} \cdot \frac{10I}{16I} = 116,074 \cdot 1,30 \cdot \frac{10}{16} = 94,31 \text{ kN}$

4.1.4.1.2 Cubierta Altar

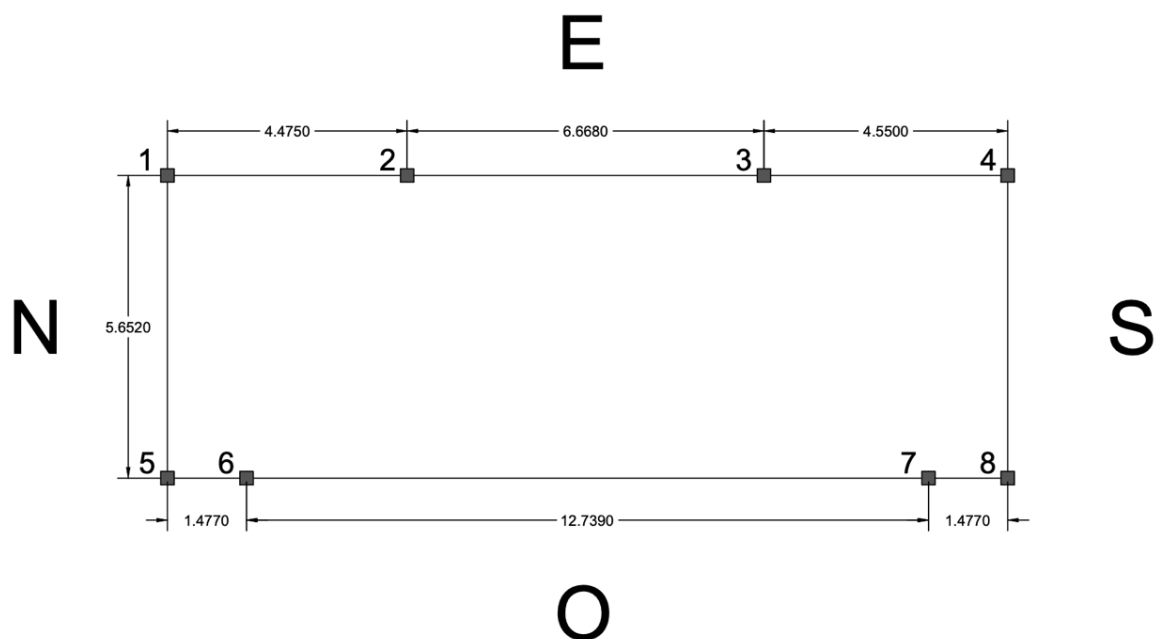


Ilustración 8 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Altar

4.1.4.1.2.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-5	7,8465	1,30	2	13,11
2	3,3715	1,13	2	11,39
3	3,2965	1,13	2	11,36
4-8	7,8465	1,30	2	13,11
6	6,3695	1,24	2	12,54
7	6,3695	1,24	2	12,54

Tabla 128 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Altar en el Caso A

4.1.4.1.2.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-4	2,826	1,30	6	39,34
5-8	2,826	1,30	6	39,34

Tabla 129 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Altar en el Caso B

4.1.4.1.3 Planta Acceso Zona Bancos

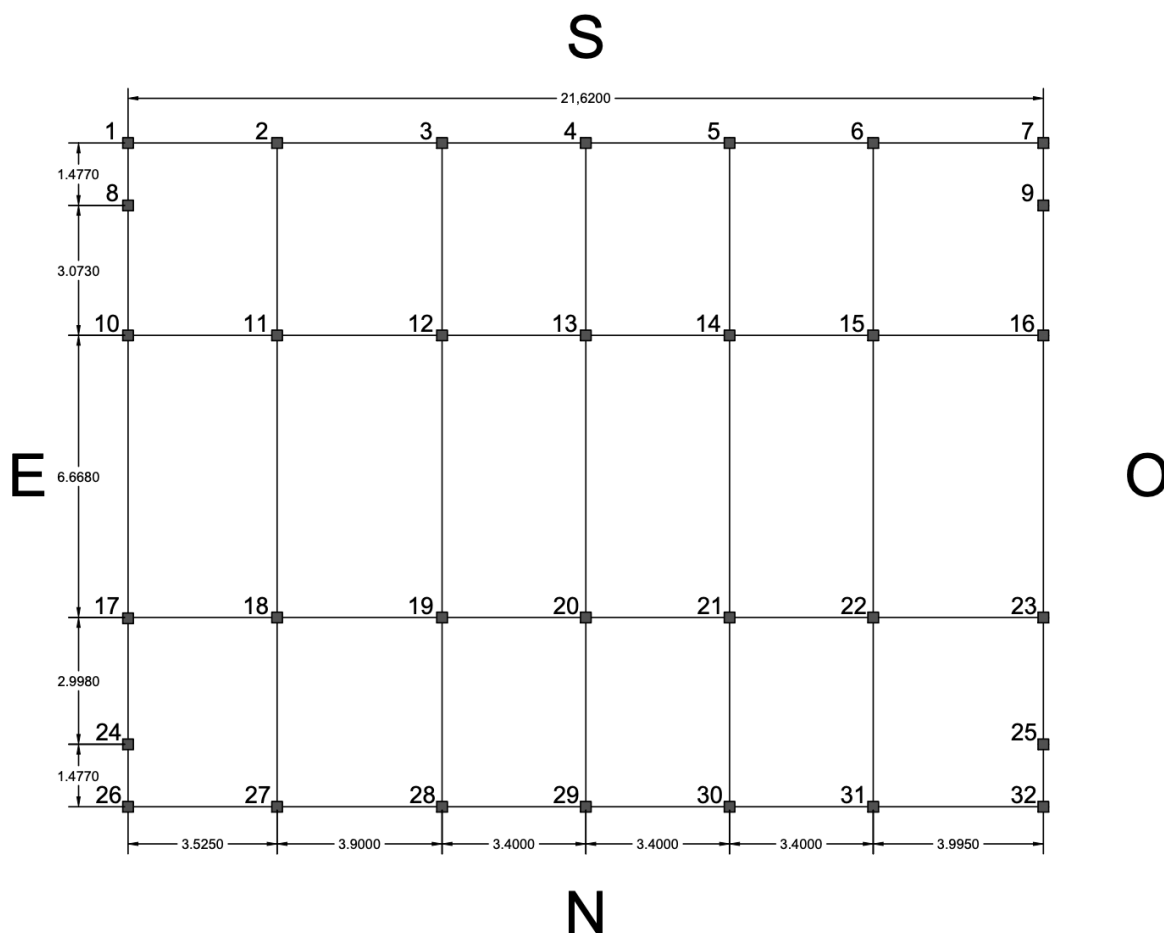


Ilustración 9 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso de la Zona Bancos

4.1.4.1.3.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-26	10,810	1,30	10	90,56
2-27	6,815	1,19	10	82,84
3-28	3,415	1,09	10	76,27
4-29	0,015	1,00	10	69,69
5-30	3,285	1,09	10	76,01
6-31	7,285	1,20	10	83,75
7-32	10,810	1,30	10	90,56

Tabla 130 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Bancos en el Caso A

4.1.4.1.3.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-7	7,847	1,30	12	108,68
8-9	6,3695	1,24	2	17,33
10-16	3,2965	1,13	19	149,04
17-23	3,3715	1,13	19	149,42
24-25	6,3695	1,24	2	17,33
26-32	7,8465	1,30	12	108,68

Tabla 131 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Bancos en el Caso B

4.1.4.1.4 Cubierta Zona Bancos

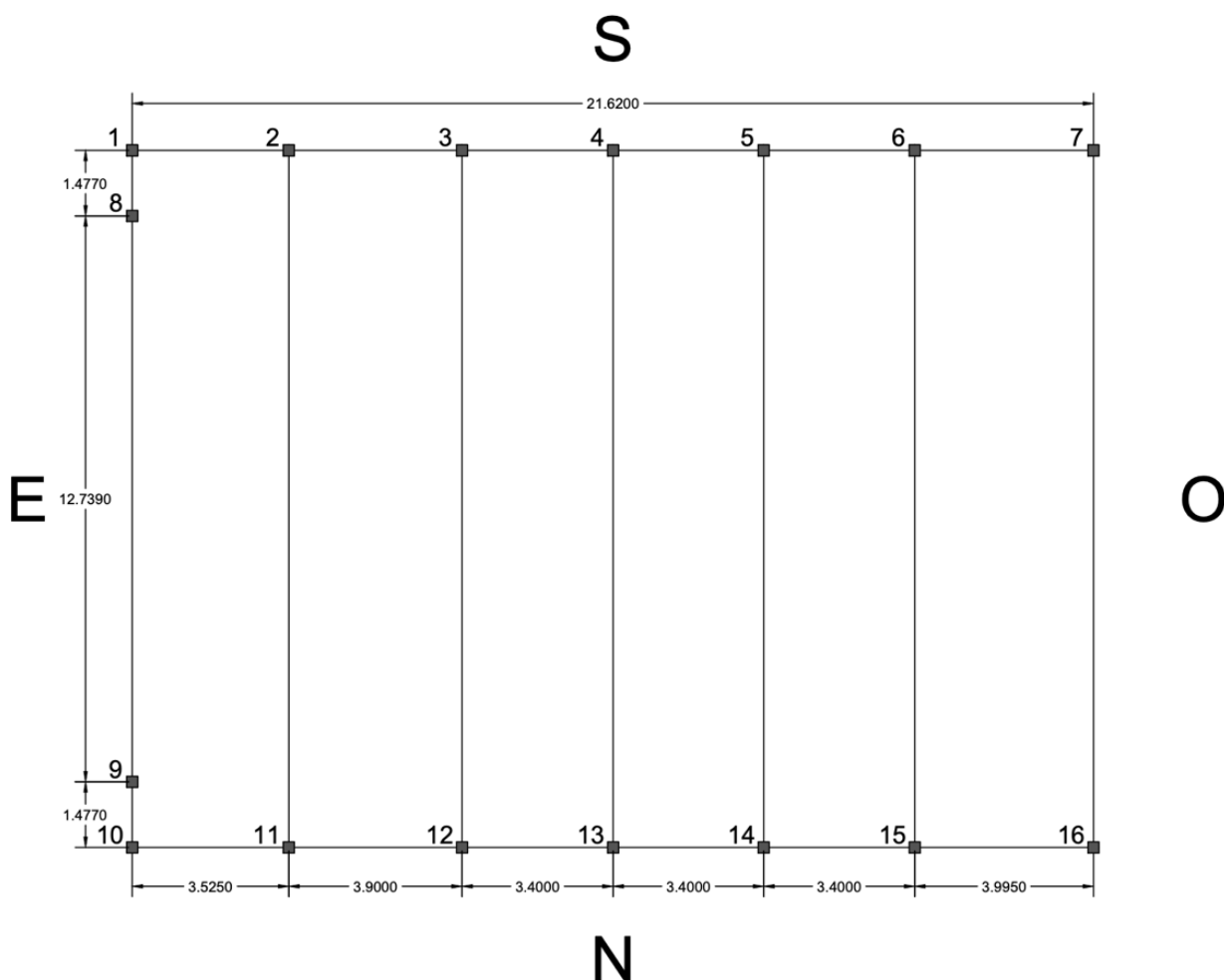


Ilustración 10 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Zona Bancos

4.1.4.1.4.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-10	10,81	1,30	6	61,95
2-11	6,815	1,19	4	37,78
3-12	3,415	1,09	4	34,78
4-13	0,015	1,00	4	31,78
5-14	3,285	1,09	4	34,67
6-15	7,285	1,20	4	38,19
7-16	10,81	1,30	2	20,65

Tabla 132 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Zona Bancos en el Caso A

4.1.4.1.4.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-7	7,8465	1,30	12	123,91
8	6,3695	1,24	2	19,75
9	6,3695	1,24	2	19,75
10-16	7,8465	1,30	12	123,91

Tabla 133 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Zona Bancos en el Caso B

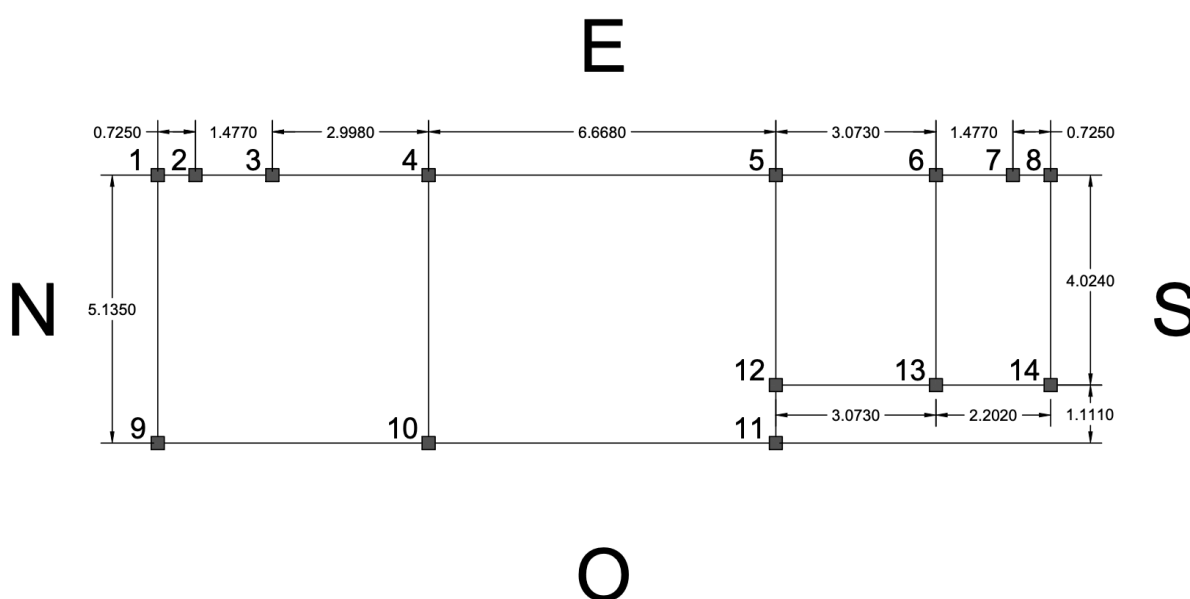
4.1.4.1.5 Planta Acceso Zona Entrada

Ilustración 11 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Acceso Zona Entrada

4.1.4.1.5.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-9	8,5715	1,30	2	8,95
2	7,8465	1,27	2	8,77
3	6,3695	1,22	2	8,42
4-10	3,3715	1,12	4	15,39
5-11	3,2965	1,12	6	23,03
6-13	6,3695	1,22	4	16,83
7	7,8465	1,27	2	8,77
8-14	8,5715	1,30	2	8,95

Tabla 134 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Entrada en el Caso A

4.1.4.1.5.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-8	2,5675	1,30	14	62,63
9-11	2,5675	1,30	4	17,89
12-14	1,4565	1,17	6	24,16

Tabla 135 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Acceso Zona Entrada en el Caso B

4.1.4.1.6 Planta Coro

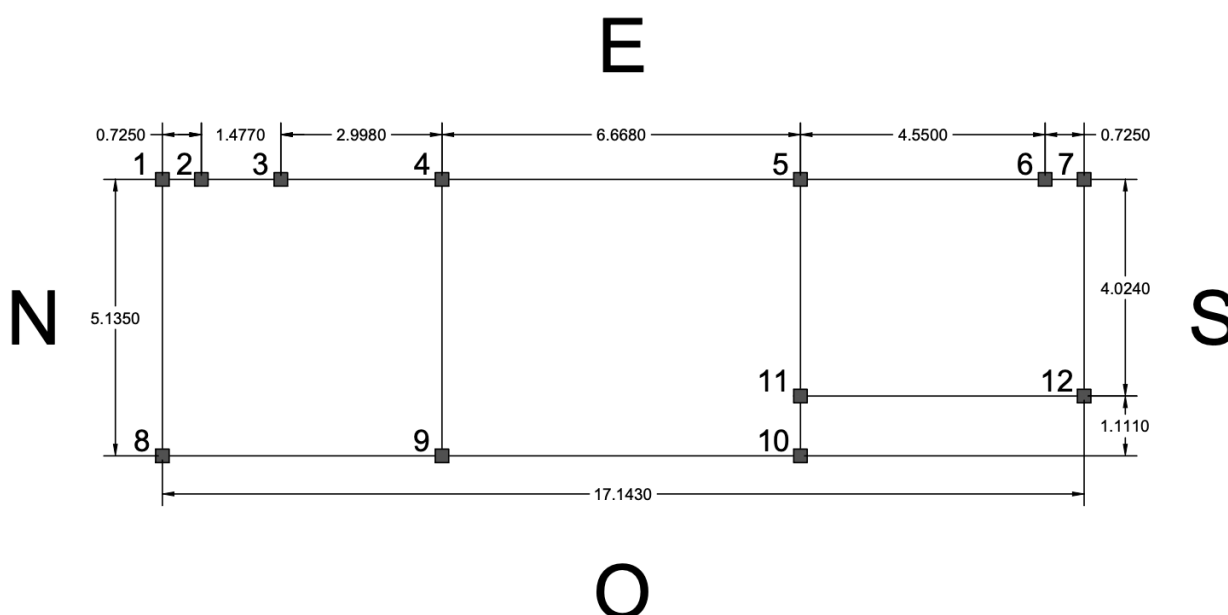


Ilustración 12 – Esquema de los elementos resistentes de la Planta Coro

4.1.4.1.6.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-8	8,5715	1,30	2	18,85
2	7,8465	1,27	2	18,48
3	6,3695	1,22	2	17,73
4-9	3,3715	1,12	4	32,42
5-10	3,2965	1,12	6	48,52
6	7,8465	1,27	2	18,48
7-12	8,5715	1,30	2	18,85

Tabla 136 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Coro en el Caso A

4.1.4.1.6.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-7	2,568	1,30	12	113,09
8-10	2,5675	1,30	4	37,70
11-12	1,4565	1,17	4	33,93

Tabla 137 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Planta Coro en el Caso B

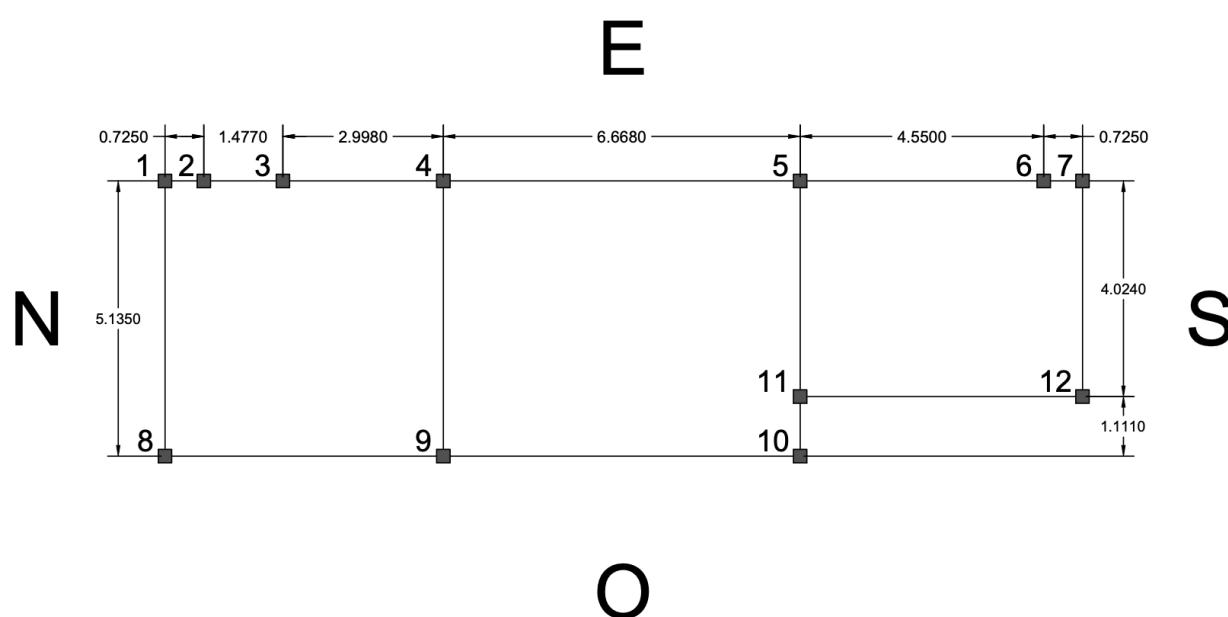
4.1.4.1.7 Cubierta Entrada

Ilustración 13 – Esquema de los elementos resistentes de la Cubierta Entrada

4.1.4.1.7.1 Caso A

Pórtico	Distancia a F_a [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-8	8,5715	1,30	2	3,77
2	7,8465	1,27	2	3,70
3	6,3695	1,22	2	3,55
4-9	3,3715	1,12	4	6,49
5-10	3,2965	1,12	6	9,71
6	7,8465	1,27	2	3,7
7-12	8,5715	1,30	2	3,77

Tabla 138 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Entrada en el Caso A

4.1.4.1.7.2 Caso B

Pórtico	Distancia a F_b [m]	Excentricidad γ_a	Rigidez Pórtico	Fuerza [kN]
1-7	2,568	1,30	12	22,63
8-10	2,5675	1,30	4	7,54
11-12	1,4565	1,17	4	6,79

Tabla 139 – Fuerza sísmica equivalente distribuida de la Cubierta Entrada en el Caso B

5 NORMATIVAS

- Documento Básico de Seguridad Estructural (DB-SE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acciones en la Edificación (DB-SE-AE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Acero (DB-SE-A)
- Instrucción de Acero Estructural (EAE)
- Documento Básico de Seguridad Estructural Cimientos (DB-SE-C)
- Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02)
- Eurocódigo 1: Acciones es estructuras. Parte 1-1: Pesos específicos, pesos propios y sobrecargas de uso en edificios (UNE-EN_1991-1-1=2007)
- Eurocódigo 1: Acciones es estructuras. Parte 1-3: Cargas de nieve (UNE-EN_1991-1-1=2007)
- Eurocódigo 1: Acciones es estructuras. Parte 1-4: Cargas de viento (UNE-EN_1991-1-1=2007)
- Criterios generales para la elaboración de proyectos (UNE 157001:2014)

Como referencias de este capítulo se incluye el siguiente documento:

- Aplicación de la NCSE-02 a un edificio con 1 modo de vibración, Luisa Basset Salom, Universidad Politécnica de Valencia

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

PARTE III: MEMORIA DEL MODELADO

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Miguel Ángel López López

**Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2021



Índice de Contenido

Índice de Contenido	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas	vii
1 Metodología BIM	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo y alcance	1
1.3 Fases de la metodología BIM	2
1.3.1 Fase de diseño	2
1.3.2 Fase de ejecución	2
1.3.3 Fase de operaciones	3
2 Modelado en Revit	5
2.1 Introducción a Revit	5
2.2 Preparación del proyecto	5
2.2.1 Vinculación con el modelo arquitectónico	5
2.2.2 Preparación de la plantilla estructural	7
2.3 Configuración del proyecto	8
2.3.1 Niveles	9
2.3.2 Rejillas	10
2.3.3 Secciones	10
2.3.4 Familias	11
2.4 Posicionamiento de los pilares	13
2.5 Posicionamiento del armazón estructural de las plantas	15
2.6 Escalera	17
2.7 Cubiertas	20
2.7.1 Cubierta Zona Altar	20
2.7.2 Cubierta Zona Bancos	22
2.7.3 Cubierta Zona Entrada	23
2.8 Forjados	24
2.8.1 Forjado Zona Altar	24
2.8.2 Forjado Zona Bancos	25
2.8.3 Forjados Zona Entrada	25
2.8.4 Forjado Coro y Voladizo	26
2.8.5 Forjados Escalera	27
2.9 Cruces de San Andrés	27

2.9.1	Cruces del lado Norte	28
2.9.2	Cruces del lado Sur	28
2.9.3	Cruces del lado Este	29
2.9.4	Cruces del lado Oeste	30
2.10	Cimentación	30
2.10.1	Zapatas	30
2.10.2	Vigas de atado	37
2.11	Apoyos	38
2.12	Introducción de cargas en Revit	40
3	<i>Análisis del modelo en Robot</i>	45
3.1	Introducción a Robot Structural	45
3.2	Exportación de Revit a Robot	45
3.3	Primera lectura en Robot	47
3.4	Preparación del Proyecto	52
3.4.1	Configuración inicial	53
3.4.2	Combinaciones de los casos cargas	54
3.4.3	Creación de grupos de dimensionamiento	59
3.5	Cálculo de la estructura	60
3.5.1	Comprobación del tipo de análisis	60
3.5.2	Cálculo de la estructura	61
3.6	Resultados	62
3.7	Dimensionamiento de los elementos	63
3.8	Obtención del informe de cálculo	70
3.9	Integración Robot-Revit	71
4	<i>Conclusiones</i>	75
5	<i>Referencias</i>	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 – Ventana de limpieza de elementos no utilizados	6
Ilustración 2 – Ventana de nuevo proyecto	6
Ilustración 3 – Ventana de vinculación del modelo arquitectónico	7
Ilustración 4 – Ventana de guardado del proyecto	8
Ilustración 5 – Niveles vistos desde el Alzado con orientación Este	9
Ilustración 6 – Rejillas en la Planta Acceso	10
Ilustración 7 – Secciones longitudinal y transversal sobre la Planta Acceso	11
Ilustración 8 – Ventana para cargar familias	12
Ilustración 9 – Distribución de pilares	13
Ilustración 10 – Tabla de propiedades de un pilar del altar	14
Ilustración 11 – Distribución de pilares en vista 3D	15
Ilustración 12 – Estructura con vigas de atado en cada planta	16
Ilustración 13 – Estructura de la Zona Entrada	17
Ilustración 14 – Vigas de la escalera	18
Ilustración 15 – Propiedades de un Sistema de vigas	19
Ilustración 16 – Escalera con sistema de vigas para los escalones	20
Ilustración 17 – Cubierta arquitectónica de la Zona Altar	21
Ilustración 18 – Cubierta estructural Zona Altar	21
Ilustración 19 – Cubierta arquitectónica de la Zona Bancos	22
Ilustración 20 – Justificación Z de las vigas	22
Ilustración 21 – Cubierta estructural de la Zona Bancos	23
Ilustración 22 – Cubierta arquitectónica de la Zona Entrada	23
Ilustración 23 – Cubierta estructural de la Zona Entrada	24
Ilustración 24 – Forjado de la Zona Altar	25
Ilustración 25 – Forjado de la Zona Bancos	25
Ilustración 26 – Forjados de la Zona Entrada	26
Ilustración 27 – Forjado de la Planta Coro	26
Ilustración 28 – Forjados de la escalera	27
Ilustración 29 – Cruces de San Andrés del lado Norte	28
Ilustración 30 – Cruces de San Andrés del lado Sur	29
Ilustración 31 – Cruces de San Andrés del lado Este	29
Ilustración 32 – Cruces de San Andrés del lado Oeste	30
Ilustración 33 – Propiedades de parámetro	32
Ilustración 34 – Superficie de la zapata acotada y etiquetada	34
Ilustración 35 – Canto de la zapata acotado y etiquetado	34
Ilustración 36 – Tipos de familia de la zapata autodimensionable	35
Ilustración 37 – Propiedades de las zapatas	36
Ilustración 38 – Estructura con las zapatas modeladas	37
Ilustración 39 – Estructura con las vigas de atado modeladas	37
Ilustración 40 – Vista 3D Modelo analítico	39
Ilustración 41 – Vista 3D Modelo analítico con apoyos	39
Ilustración 42 – Propiedades de los apoyos	40
Ilustración 43 – Propiedades de carga	42
Ilustración 44 – Vista analítica Viento Norte A	43
Ilustración 45 – Vista analítica Sísmica Este	43
Ilustración 46 – Ejemplo de bidireccionalidad entre Revit y Robot	46

Ilustración 47 – Ventana de integración con Robot	46
Ilustración 48 – Ventana de lista de advertencias en Revit	47
Ilustración 49 – Modelo de la estructura en Robot tras la lectura	48
Ilustración 50 – Modelo de la estructura en Robot con las secciones vistas	48
Ilustración 51 – Ventana de secciones	49
Ilustración 52 – Ventana de selección de perfiles en el catálogo	49
Ilustración 53 – Ventana de selección de barras	50
Ilustración 54 – Propiedades barras recién definidas	51
Ilustración 55 – Vista de cruces de San Andrés con sección	51
Ilustración 56 – Nivel de detalle del voladizo en Revit	52
Ilustración 57 – Nivel de detalle del voladizo en Robot	52
Ilustración 58 – Ventana de tipos de estructuras	53
Ilustración 59 – Ventana de preferencias para el proyecto. Normas de diseño	53
Ilustración 60 – Ventana de preferencias para el proyecto. Cargas	54
Ilustración 61 – Ventana de preferencias para el proyecto. Edición de unidades	54
Ilustración 62 – Ventana con la estimación de combinaciones de cargas automáticas	55
Ilustración 63 – Ventana de combinaciones automáticas según la norma aplicada	55
Ilustración 64 – Ventana de grupos de casos de cargas	57
Ilustración 65 – Ventana de relaciones entre los grupos de casos de carga	57
Ilustración 66 – Ventana con la nueva estimación de combinaciones de cargas automáticas	59
Ilustración 67 – Ventana de inspector de objetos con los grupos creados	59
Ilustración 68 – Ventana de creación de grupos de dimensionamiento	60
Ilustración 69 – Ventana de tipos de análisis	61
Ilustración 70 – Ventana de cálculo	61
Ilustración 71 – Advertencia en el cálculo	62
Ilustración 72 – Pantallas disponibles para los resultados	62
Ilustración 73 – Diagrama Momento Flector M_y	63
Ilustración 74 – Ventana de creación de grupos de dimensionamiento	63
Ilustración 75 – Ventana de verificación y dimensionamiento de grupos	64
Ilustración 76 – Ventana de selección de las combinaciones a estudiar	64
Ilustración 77 – Modelo Analítico de la estructura remodelada	67
Ilustración 78 – Nota de cálculo del perfil IPN 320 en el grupo Vigas Laterales Acceso Bancos	68
Ilustración 79 – Diagrama de esfuerzos F_x	69
Ilustración 80 – Diagramas de esfuerzos F_z	70
Ilustración 81 – Diagramas de esfuerzos M_y	70
Ilustración 82 – Ventana de componentes para el informe de cálculo	71
Ilustración 83 – Integración con Revit Structure	72
Ilustración 84 – Ventana de advertencias de la integración Robot-Revit	72
Ilustración 85 – Modelo final en Robot	73
Ilustración 86 – Modelo final en Revit	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Tabla de verificación del grupo Correas Altar	65
Tabla 2 – Tabla de verificación de una barra con solicitación elevada	65
Tabla 3 – Tabla de dimensionamiento de grupos	66
Tabla 4 – Tabla de dimensionamiento del grupo Correas Altar	66
Tabla 5 – Tabla de dimensionamiento de un perfil máximo	67
Tabla 6 – Tabla de dimensionamiento de las Vigas Laterales de la Planta Acceso en la Zona Bancos	68
Tabla 7 – Tabla de resultados de cálculo almacenados	69

1 METODOLOGÍA BIM

En el presente capítulo se explica cómo es la forma de trabajo que se sigue mediante la metodología BIM y, por tanto, la que se lleva a cabo en el actual Trabajo de Fin de Grado.

1.1 Introducción

La metodología BIM está revolucionando la forma de trabajar que hasta ahora se conocía dentro del sector de la construcción. Este nuevo método de trabajo es colaborativo, lo que permite hacer uso de un modelo virtual de datos facilitando la gestión entre proyectistas, constructores, instaladores, promotores y demás agentes que se encuentren implicados en el proceso constructivo, los cuales trabajarán sobre un modelo único compartido.

A pesar de ser un procedimiento considerado nuevo para muchos, este imita el proceso real de la construcción, pero llevándolo mucho más allá del 3D. Es por eso por lo que se define como una metodología multidimensional, ya que abarca todas las fases del ciclo de vida de una infraestructura.

Esta forma de trabajo se está convirtiendo en un nuevo estándar en la construcción a nivel mundial, lo que exige a los profesionales que se adapten a los nuevos tiempos y comiencen a formarse en esta metodología. Por ello cada vez más países impulsan la implementación de BIM en las empresas y en obras públicas, llegando ya a ser obligatorio para algunos proyectos públicos.

La filosofía BIM tiene como objetivo principal el trabajar sobre un modelo constructivo en el que toda la información se encuentre centralizada en un solo archivo, como se comentaba antes. Esta vinculación permanente entre el modelo 3D y la base de datos, la cual se pueda encontrar disponible para cualquier agente en cualquier momento y a través de cualquier dispositivo, hace que, si se produce un cambio en el diseño, el conjunto de elementos que se vean afectado por ello se modifiquen automáticamente en el resto de los documentos y disciplinas.

Esto aporta numerosas ventajas frente al trabajo tradicional de lápiz y papel, destacando entre ellas la optimización del proceso y el ahorro del tiempo, convirtiendo así cualquier proyecto que se realice mediante esta metodología en un trabajo de calidad superior y, por tanto, ofreciendo una mayor rentabilidad.

1.2 Objetivo y alcance

El objetivo de esta memoria es ofrecer una visión del trabajo que se ha llevado a cabo a lo largo de este proyecto, el cual ha seguido parte de este método de trabajo tan completo del que se compone la metodología BIM.

El alcance de la actual memoria llega hasta el cálculo y mediciones del modelo virtual creado a través del software Revit, perteneciente a la empresa Autodesk, Inc. Dichas mediciones se realizarán mediante el software Robot, perteneciente a la misma empresa, y el cual realizará el análisis del modelo una vez aplicadas las cargas que actúan sobre la estructura, las cuales han sido halladas en la Memoria de Cálculo Estructural. Y, finalmente, se obtendrán los planos con los que se procedería a la construcción.

La versión de Revit que se ha utilizado para el modelado de la estructura es la 2019. Pese haber versiones más actuales, como la 2020, la mayor parte de los profesionales siguen trabajando con esta. Esto es debido a que Revit permite la importación de modelos de versiones antiguas a las posteriores, pero no al revés. Por ello se ha elegido utilizar la versión 2019, debido a una mejor compatibilidad.

1.3 Fases de la metodología BIM

Como se ha comentado ya varias veces, la metodología BIM abarca todo el ciclo de vida de una edificación, desde el planteamiento inicial, como solución a un problema, hasta su construcción y posteriormente durante su mantenimiento hasta finalmente su demolición. Un proyecto BIM se puede resumir en 3 etapas generales, cada una de las cuales incluye una serie de procedimientos que se desarrollan durante la duración de cada una de ellas. Las tres fases principales de la metodología BIM son:

1.3.1 Fase de diseño

Esta fase es el inicio del proyecto y es la parte en la que más cálculo e investigación hay. Comienza con la propia conceptualización de la idea base en la que se fundamentará el proyecto y continúa con la planificación de este, paso donde se realiza el reparto de roles que va a tener cada agente que vaya a trabajar en él. En esta fase es recomendable que se haga una estimación de costes y un estudio de la viabilidad de su materialización.

Una vez se haya hecho lo anterior y sea vea que es rentable económicamente llevarlo a cabo, se realiza el modelo arquitectónico para, posteriormente, realizar simultáneamente el modelo estructural y el MEP. En el caso del actual proyecto, el modelo arquitectónico ya está hecho, por lo que se realiza el modelo estructural basándose en él. En cambio, el MEP, es decir, el modelo que incluye las instalaciones mecánicas, eléctricas e hidrosanitarias, no es objeto de estudio de este TFG.

Esta parte de la fase de diseño, en la que se realiza una construcción virtual inicial, se realiza a través del software Revit y más adelante se detallarán todos los pasos que se han seguido para la construcción del modelo estructural.

Siguiendo dentro de la fase de diseño, se realiza el análisis y definición del detalle. Es aquí, con la ayuda del software Robot, donde se estudia la estabilidad de la estructura diseñada y se lleva a cabo una iteración de ella misma, donde se optimizarán los perfiles prediseñados hasta el punto en el que se pueda considerar totalmente estable. Para ello, habrá que tener previamente calculadas las acciones que actúan sobre la estructura que sea objeto de estudio, proceso que en este proyecto se lleva a cabo en la Memoria de Cálculo Estructural y que se aplican en la estructura dentro del apartado de modelado en Revit, aunque también se podría hacer en Robot.

Por último, en esta fase también se lleva a cabo la coordinación, en la cual hay un agente responsable de que se cumplan los requerimientos del cliente y, además, se encarga de la comprobación de la calidad del modelo BIM y de la compatibilidad con el resto de las disciplinas del proyecto. Habrá tantos coordinadores en un proyecto como disciplinas o especialidades haya.

1.3.2 Fase de ejecución

Esta fase comienza con la planificación del trabajo de esta etapa y generación de los planos finales de la edificación a partir de los modelos creados en la fase de diseño.

Una gran ventaja de BIM es que permite la visualización del estado de la construcción y compararlo con la evolución que se espera según la planificación que se ha realizado. Esto ofrece un mayor control sobre las entregas que se deban hacer en un proyecto y una rápida detección de un posible bloqueo en el trabajo.

Una vez se haya organizado la fase de ejecución, se procede a la adquisición de los materiales y maquinaria que se vaya a necesitar para la construcción de la infraestructura. En esta etapa de la fase será importante cómo se lleve a cabo la gestión de la logística de aprovisionamiento de los materiales, ya que la gestión del sistema de compras, almacenamiento y distribución de estos se debe organizar correctamente para que no se produzcan problemas que obstaculicen el proceso de trabajo que se ha planificado.

Es en esta misma fase es en la que, en caso de que se necesiten, se deben mandar a fabricar aquellos materiales que se vayan a utilizar en la construcción y que necesiten ser prefabricados según las medidas específicas que aparecen en los planos.

Finalmente, se realiza la puesta en marcha de la construcción de la edificación según la planificación establecida.

Llegados a este punto podría ser el final de cualquier proyecto, pero con la metodología BIM no es así. Una vez se ha construido la edificación, se crean los As-Built, que como su nombre indica son los documentos que explican cómo se ha construido. Estos archivos se consideran documentos técnicos que recogen los planos, cálculos y descripciones de las actuaciones realizadas para adaptar el proyecto inicial a la realidad de la obra que se ha construido.

Por último, se haría entrega de la construcción con toda la información referente al proyecto teniendo que dar tan solo un archivo BIM.

1.3.3 Fase de operaciones

Esta fase es la más larga de las tres. Empieza con la ocupación y operación de la edificación, en la que es de gran importancia llevar un control de cómo comienza a funcionar todo. Esto es así debido a que es en esta parte en la que aparecen muchos errores de los que se han cometido durante el proceso de la construcción de la edificación y, en especial, de sus instalaciones.

Una parte muy importante de la actual fase es el control de activos y mantenimiento de la construcción. Esta actividad, en comparación con formas de trabajo más tradicionales, se puede llevar a cabo mediante la metodología BIM, lo cual no hace más que poner en valor las grandes ventajas que aporta este método de trabajo.

Por último, en esta fase se llevaría a cabo la etapa final de desmantelamiento de la construcción, es decir, la demolición de esta, o bien, se podría hacer una reprogramación integral de la edificación. Esta última posibilidad llevaría a comenzar de nuevo el ciclo de vida de la construcción, pero en este caso no se empezaría de cero totalmente, ya que al tener todo el histórico de las fases de diseño, ejecución y mantenimiento en el archivo BIM de la edificación es una ventaja de esta metodología, la cual permite ahorrar mucho trabajo y, por tanto, tiempo y dinero.

Una vez se conocen las fases de la metodología BIM se procede a explicar en los siguientes capítulos el proceso que se ha realizado en el actual Trabajo de Fin de Grado durante las etapas de modelado en Revit y su posterior análisis en Robot. Finalmente, se acabará con una conclusión acerca de los resultados que se han obtenido.

2 MODELADO EN REVIT

En el presente capítulo se expone el trabajo que se ha realizado durante proceso de modelado de la estructura. Proceso que se ha llevado a cabo mediante el software Revit, del cual se hace previamente una breve introducción acerca de su funcionamiento y, además, de su herramienta Revit Structure, siendo ésta con la que se ha trabajado en el actual proyecto.

2.1 Introducción a Revit

Revit es un programa de diseño, no de cálculo, y fue creado exclusivamente para trabajar con la metodología BIM. En él se modela a través de objetos inteligentes, los cuales se conocen como familias paramétricas, y a medida que se va desarrollando el proyecto se va obteniendo un modelo 3D a tiempo real. Este software funciona mediante un método de trabajo colaborativo, cuya base de datos relacional permite gestionar y coordinar la información automáticamente ante cualquier cambio introducido, actuando asimismo en todas las disciplinas simultáneamente. Esto agiliza el tiempo de trabajo y minimiza el riesgo de cometer errores durante la fase de ejecución del proyecto.

De entre todas esas disciplinas con las que se trabaja en BIM, en este proyecto se destaca Revit Structure. Esta herramienta se creó enfocada para los ingenieros estructurales, permitiéndoles diseñar y modelar los elementos estructurales de una construcción con una alta precisión espacial y un elevado nivel de detalle. Trabajar con Revit Structure supone un ahorro de tiempo y esfuerzo, siendo notable la rapidez y facilidad en los procesos de modificación de los elementos y generación de la documentación.

A continuación, se exponen varios apartados en los que se cuentan los pasos que se han seguido para la modelación de la estructura mediante Revit Structure, encontrándose en el orden natural que se ha de seguir para modelar un edificio a partir del modelo arquitectónico.

2.2 Preparación del proyecto

Al igual que en todo proyecto, al principio se han de dar ciertos pasos con los que se procede a la iniciación del trabajo. En este caso, en el que se trabaja a partir del modelo arquitectónico en Revit, se va a dividir dicha iniciación en dos partes: vinculación con el modelo arquitectónico y preparación de la plantilla estructural.

2.2.1 Vinculación con el modelo arquitectónico

Lo primero de todo, antes de realizar la vinculación, se deberá realizar una limpieza del archivo en el que viene el modelo arquitectónico, haciendo que sea más ligero y fácil a la hora de trabajar con él. Para ello se abre el archivo y, de todas las pestañas que se observan en la parte superior, se debe clicar en la de “Gestionar”. Debajo de esta pestaña se encuentran diferentes grupos de acciones, de entre los que se observa uno que dice “Configuración”, que a su vez incluye varios botones entre los que se halla el de la opción “Limpiar elementos no utilizados”. Si se pulsa en ese botón aparecerá una ventana como la que se ve a continuación:

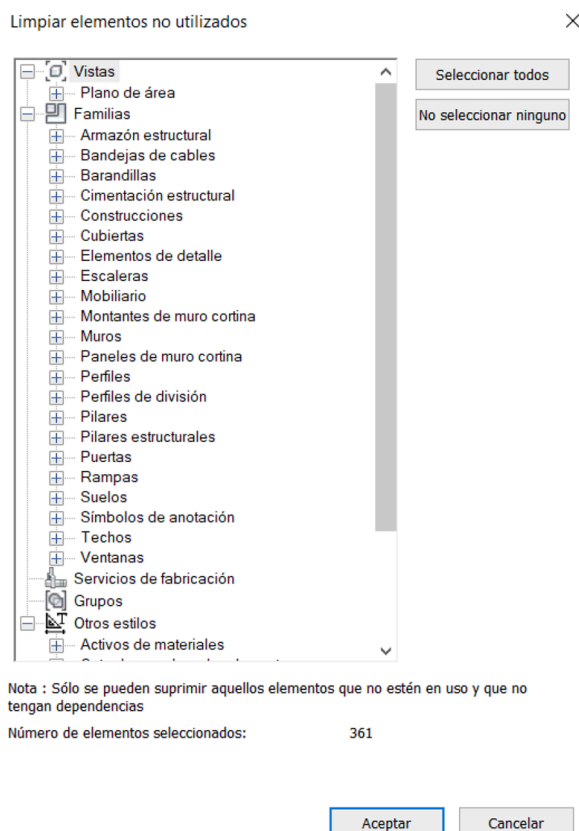


Ilustración 1 – Ventana de limpieza de elementos no utilizados

Como se puede observar, aparecen 361 elementos, entre los que se incluyen estilos de textos, materiales para el renderizado, muebles, planos duplicados, etc. Estos elementos que ni se van a utilizar ni supondrán ningún cambio a la hora de modelar y, además, su eliminación tampoco les afectará a los arquitectos, ya que ellos mandan una copia de su archivo y en caso de que manden una actualización tan solo habría que repetir este proceso. Esta acción habrá que realizarla tres o cuatro veces, dependiendo del caso, ya que existen elementos anidados dentro de otros que no se terminan de limpiar, por lo que, si se le da a aceptar y se vuelve a acceder a esta ventana, aparecen todavía elementos que no se han eliminado, así que se repite este proceso hasta que se acceda y aparezcan 0 elementos no utilizados.

Una vez realizado esto ya se podría vincular el modelo arquitectónico a una plantilla estructural. Para ello, se guarda el archivo que se acaba de limpiar y se abre Revit desde cero. Si se le da a “Nuevo” en el apartado de “Proyectos” aparece la siguiente ventana:

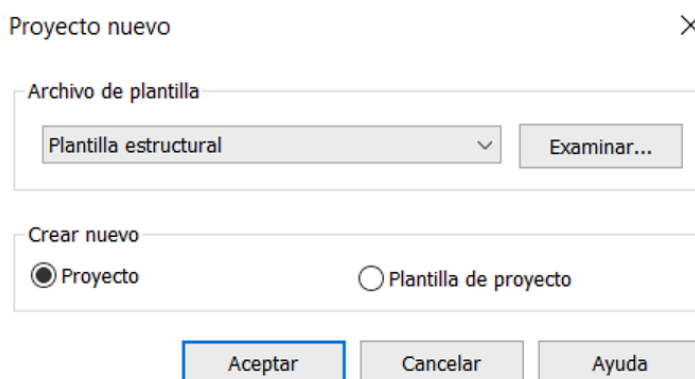


Ilustración 2 – Ventana de nuevo proyecto

Si se configura como archivo de plantilla la “Plantilla estructural” y se clicca en “Aceptar” se comenzará un nuevo proyecto partiendo de la configuración predeterminada de un formato estructural, que es lo que interesa para el actual proyecto.

Ahora ya se podría vincular el modelo arquitectónico para comenzar a trabajar. Para realizar esto se ha de ir a la pestaña “Insertar”, donde se encuentra el botón “Vincular Revit”. Al pulsarlo aparece una ventana como la siguiente:

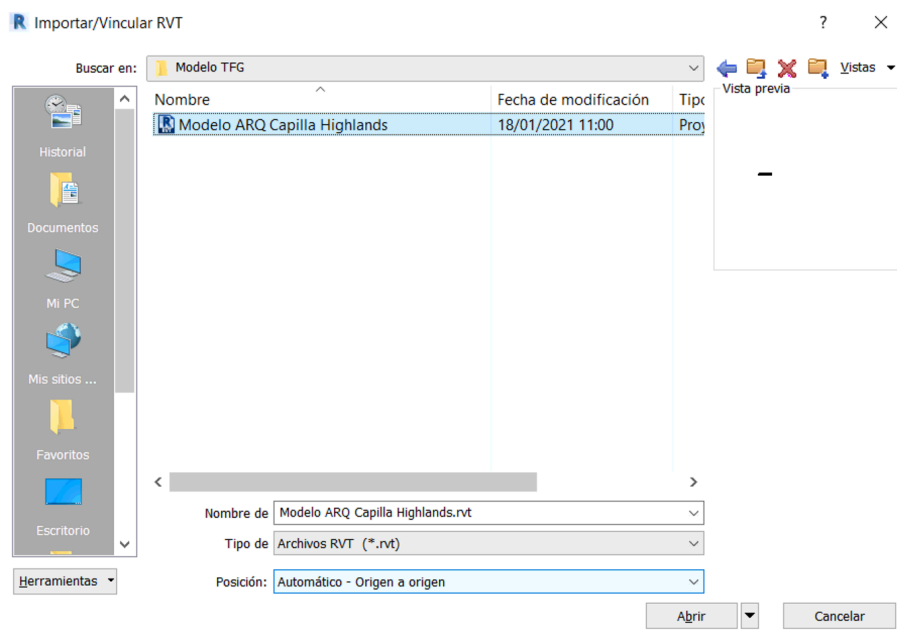


Ilustración 3 – Ventana de vinculación del modelo arquitectónico

En esta ventana se busca la ubicación del modelo arquitectónico para su vinculación con la plantilla estructural que se acaba de abrir. Se tiene que configurar la posición en la que se encontrará el archivo vinculado. De entre las opciones que aparecen se elegirá la que se muestra en la imagen anterior, es decir, la de automática y de origen a origen. Esto será así ya que, si se elige de forma automática en vez de manual, se ahorrará tiempo de trabajo y, además, si se elige de origen a origen se respetará la posición que han elegido los arquitectos, que si ha sido de una forma concreta será por alguna razón. Se le da a “Aceptar” y ya se tendría vinculado el proyecto con el modelo arquitectónico,

Por último, dentro de las propiedades de tipo del vínculo se tiene que configurar el tipo de referencia como “Enlace”, de forma que, si el modelo arquitectónico que se acaba de introducir está vinculado a su vez a otro archivo, como puede ser el terreno, se pueda ver en el nuevo archivo al que se acaba de vincularse dicho modelo arquitectónico.

2.2.2 Preparación de la plantilla estructural

Una vez se ha vinculado el modelo arquitectónico, ya se tiene el archivo donde se va a realizar el modelado estructural de la construcción, por lo que lo primero que se hará será guardar el archivo con el nombre que se haya acordado ponerle. En este caso se llamará “Modelo EST Capilla Highlands”. Como se puede observar en la siguiente imagen, al guardar aparece un botón de opciones donde se configura el número de copias de seguridad que se vayan a necesitar. Hay que tener en cuenta que cuantas más copias, más memoria se ocupará. Para el actual proyecto se ha elegido un total de tres copias de seguridad.

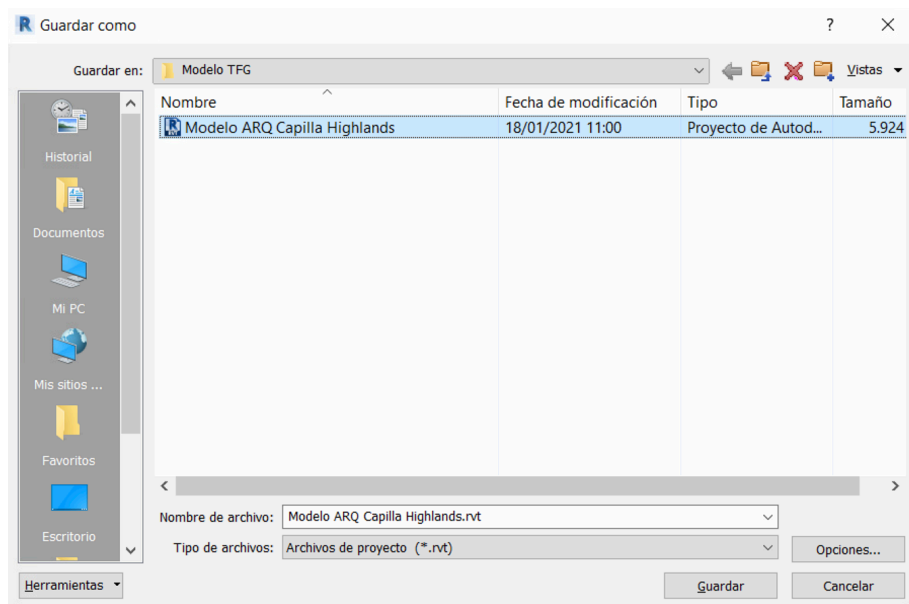


Ilustración 4 – Ventana de guardado del proyecto

Teniendo ya el archivo guardado se procede a prepararlo para el proyecto. Para ello se comienza añadiéndole la información necesaria respectiva a la construcción. Esta acción denominada “Información del proyecto” se encuentra al lado del botón “Limpiar elementos no utilizados”, siendo ahí donde se introducirán datos como el nombre del proyecto, el del autor y el del cliente, la dirección donde se va a construir y demás información que pueda ser importante.

Permaneciendo en el mismo grupo de acciones, se encuentra también el botón de “Unidades del proyecto”, que como en todo proyecto de modelado habrá que configurar en su comienzo. Para el actual proyecto se utilizarán las unidades correspondientes al Sistema Internacional.

Otro aspecto que se ha de configurar, el cual también se encuentra dentro de la pestaña de “Gestionar”, son los materiales. Si se pulsa el botón “Materiales” aparecen todos los posibles que se pueden utilizar y, para cada uno de ellos, se observa su aspecto gráfico, su aspecto para el renderizado, los parámetros que definen su comportamiento mecánico y su identidad. Aquí es donde se configuran los materiales que se comentan en la Memoria Descriptiva que han sido elegidos para el actual proyecto.

Por último, quedaría adquirir las coordenadas del proyecto para que se posicione de forma que se encuentre orientado respecto al norte real tal y como se hallará en la realidad. Para ello, todavía dentro de “Gestionar”, en el grupo de acciones “Ubicación de proyecto” se encuentra el botón “Coordenadas”, que si se clicla aparecen varias opciones de entre las cuales la primera es la de “Adquirir Coordenadas”. Pulsando en esa opción tan solo habrá que seleccionar el proyecto vinculado que se ha introducido para que se adquieran las coordenadas reales del proyecto.

2.3 Configuración del proyecto

Antes de comenzar a modelar, tras haberse preparado el proyecto, habrá que configurarlo a partir de la información que se obtiene del modelo arquitectónico. Este proceso constará de unos pocos pasos que son muy similares para todos los proyectos y que facilitan mucho el posterior modelado.

El paso previo a esta configuración va a ser el de poner los elementos pertenecientes al vínculo como subyacentes, es decir, se verán de un color más claro de tal forma que sea más fácil identificar los elementos que se van modelando y no se solapen sobre los del modelo arquitectónico.

2.3.1 Niveles

El primer paso dentro de este apartado será la configuración de los niveles estructurales del proyecto a partir de los que aparecen con el vínculo.

Hay que comentar que los niveles estructurales tienen que modelarse una cierta distancia por debajo de los arquitectónicos, esto es debido a que los últimos mencionados indican el final del suelo acabado mientras que los primeros indican el final del forjado, es decir, sin que tenga ninguna capa de compresión ni ningún suelo encima. La distancia que hay que dejar oscila entre los 10 cm, si se trata de un suelo simple en el que habrá tan solo pequeñas tuberías, y el medio metro, si en cambio se trata de un suelo técnico. Para el actual proyecto se ha considerado un desfase de 15 cm para los suelos, dejando así algo de margen. Sin embargo, para las cubiertas se ha decidido dejar la misma altura que se indica en el modelo arquitectónico, ya que indican la base donde se apoyarán las estructuras que conforman dichos cerramientos.

Para crear los niveles se ha de ir a la pestaña “Estructura”, concretamente al grupo de acciones “Referencia”, en el cual se encuentra el botón “Nivel”. Si se pulsa en esa opción Revit permite crear en la pantalla de trabajo los niveles a las distancias correspondientes de cada uno. Cada nivel tiene un código distinto según el orden ascendente de altura, tal y como se puede ver a continuación:

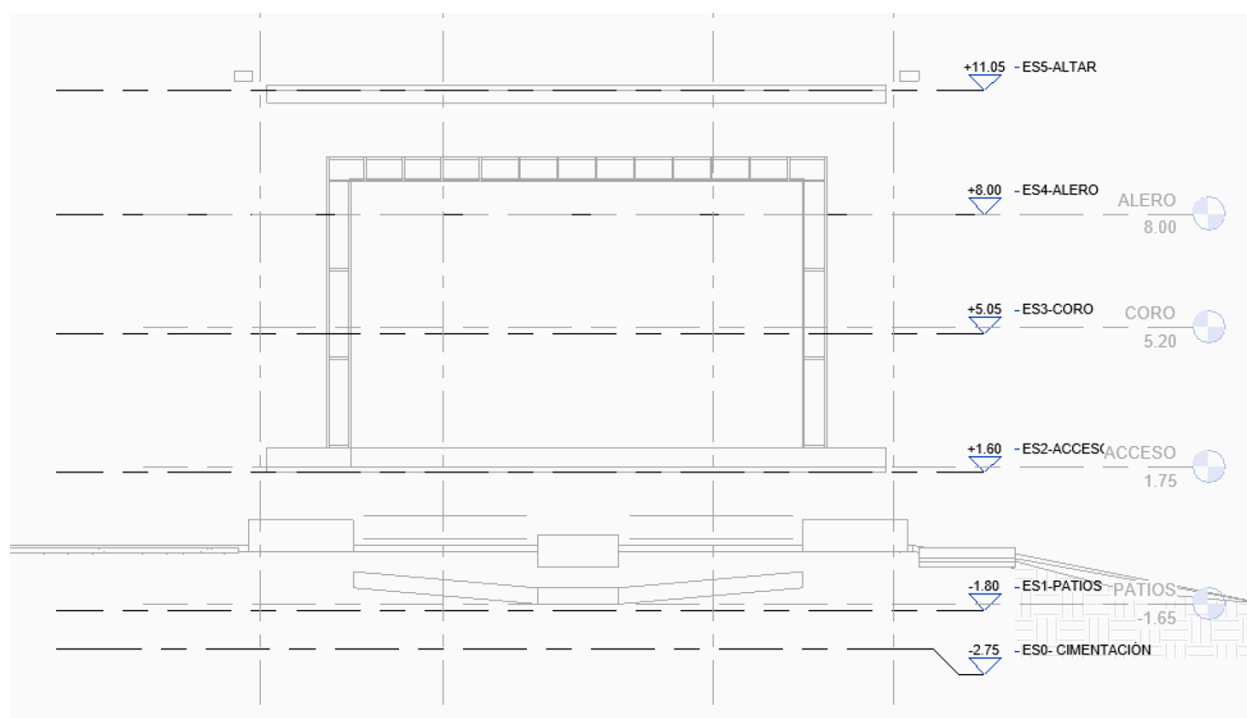


Ilustración 5 – Niveles vistos desde el Alzado con orientación Este

En caso de que los arquitectos modifiquen alguno de los niveles en el modelo arquitectónico, el modelo estructural quedará descuadrado. Para evitar esto se procede a coordinar los niveles estructurales con los arquitectónicos, de forma que si los últimos cambian los primeros lo harán a la vez. Esto se realiza yendo a la pestaña de “Colaborar”, donde a la derecha del todo se puede encontrar el botón “Coordinar”. Si se clicca ahí se despliegan varias opciones, siendo la primera de ellas la de “Copiar/Supervisar” y la que hay que pulsar. Aquí se despliega a su vez dos opciones más, de las cuales se elegirá la que se llama “Seleccionar vínculo”. Se procede a seleccionar el vínculo como se hizo para el paso de adquirir las coordenadas y, una vez realizado esto, tan solo habrá que darle a la opción “Supervisar” e ir seleccionando cada nivel que se ha creado con el que se quiera coordinar. Finalmente, se pulsa el tic verde y quedan los niveles coordinados.

Para el proyecto se han definido primero los niveles que aparecen en la imagen anterior, sin embargo, conforme se vaya avanzando igual se precisa la creación de alguno nuevo para una mayor definición de los elementos.

2.3.2 Rejillas

El siguiente paso es muy parecido al anterior, pero a diferencia de los niveles, las rejillas forman planos verticales y no horizontales.

Estos elementos también se coordinarán respecto a los del modelo arquitectónico, pero para ello esta vez no se crearán y después se supervisarán, ya que en este caso no habrá ningún tipo de desfase como ocurre con los niveles. Para ello habrá que realizar los mismos pasos que llevaban a la opción de “Supervisar” una vez seleccionado el vínculo, pero en vez de darle a “Supervisar” se le da a “Copiar”. Este botón lo que hace es copiarlos en el modelo estructural y a la vez quedan coordinados con los del vínculo.

Realizando esto para todas las rejillas se obtiene un modelo como el que aparece en la siguiente imagen, el cual servirá de referencia para la colocación de los pilares y vigas más adelante.

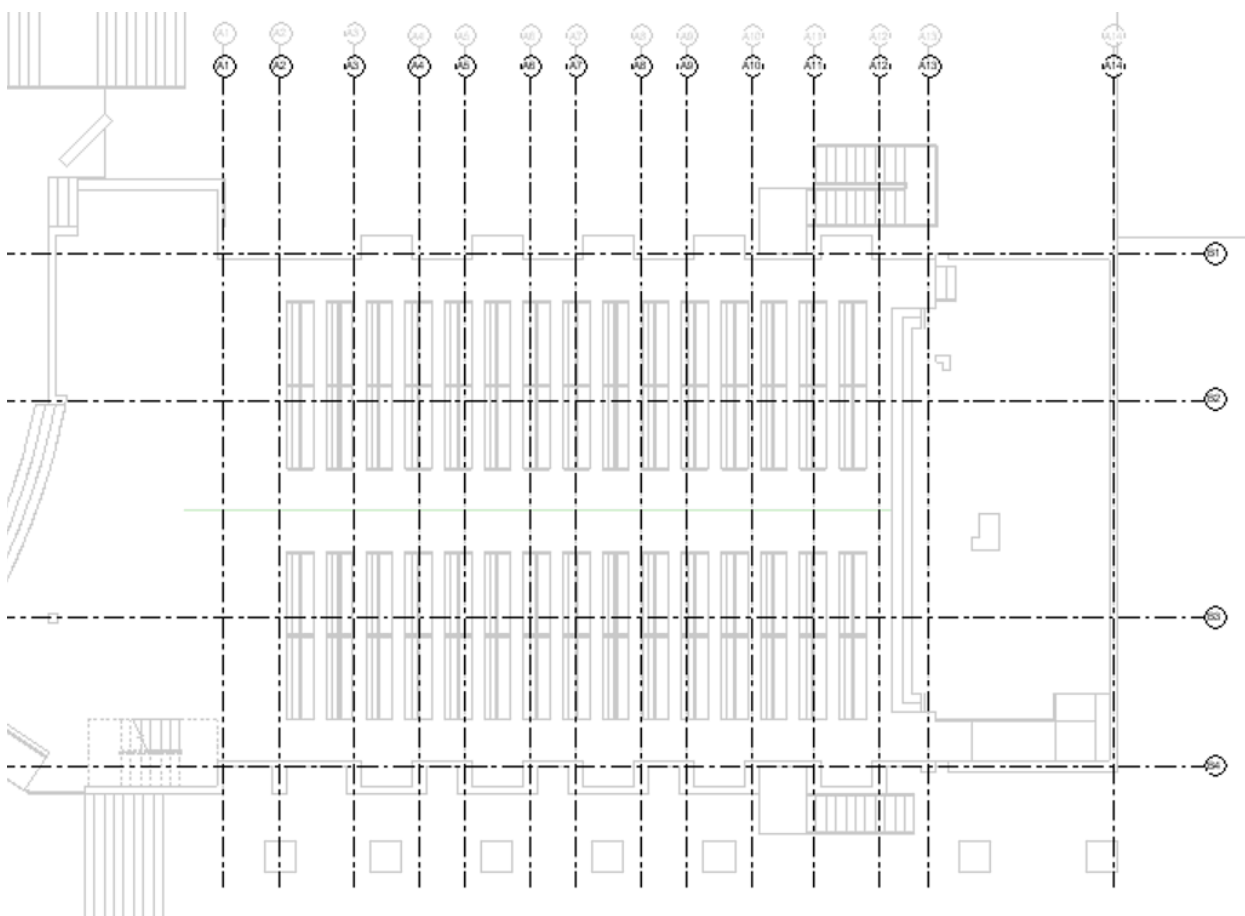


Ilustración 6 – Rejillas en la Planta Acceso

Al igual que se ha comentado para los niveles, a lo largo del proyecto se podrán necesitar crear más rejillas que faciliten la definición de los elementos estructurales.

2.3.3 Secciones

A la hora de modelar, podrán necesitarse vistas verticales para definir elementos que con los planos horizontales sea más complicado realizarlo. Una opción que es mejor que los alzados, los cuales suelen utilizarse más en la disciplina de arquitectura que en la de estructura, es la de las secciones.

Para ello, se ha de ir al grupo de acciones “Crear” que se encuentra dentro de la pestaña “Vista”. Ahí aparece el botón de “Sección”, que al pulsarlo Revit permite crear cuantas secciones se quiera en la pantalla de trabajo.

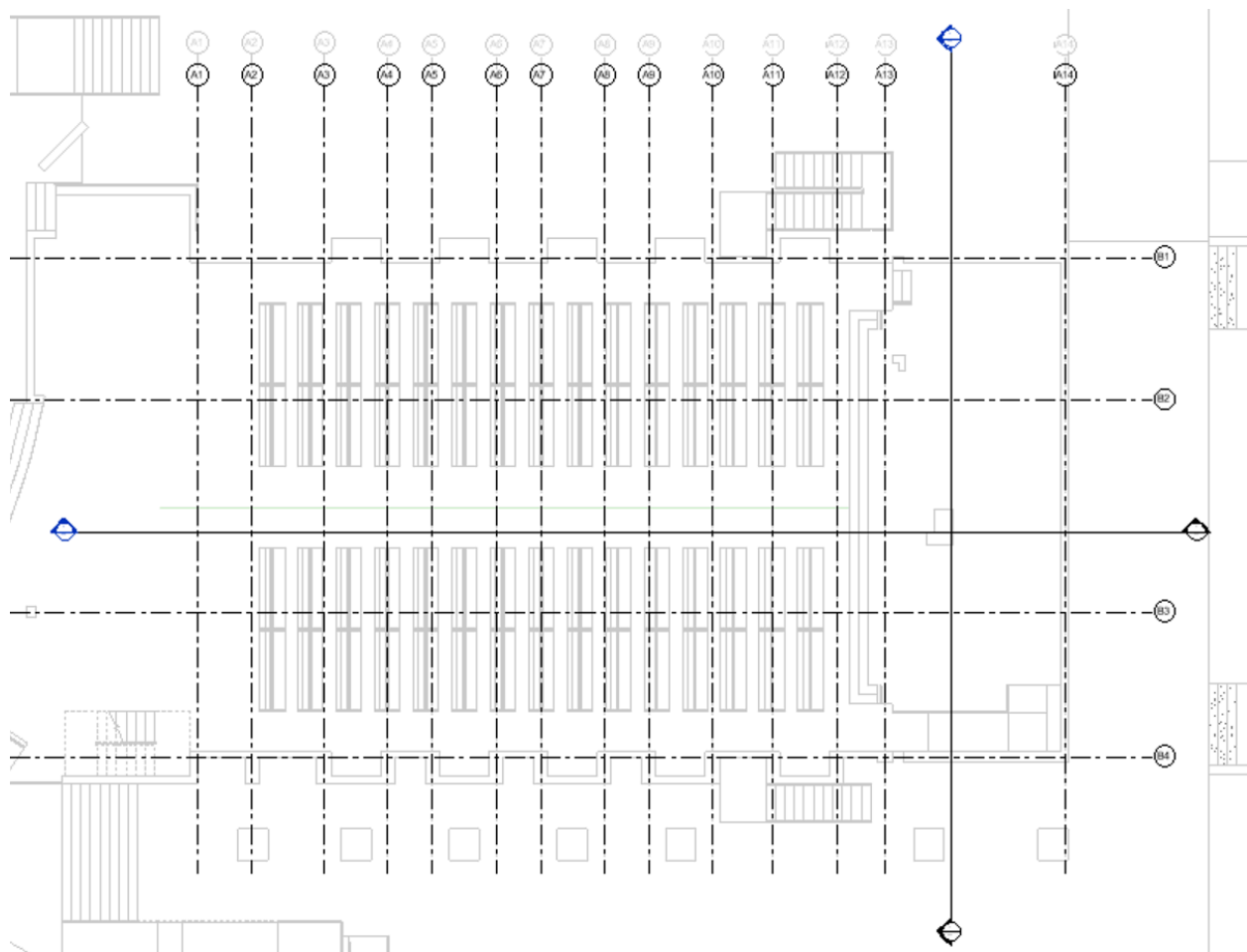


Ilustración 7 – Secciones longitudinal y transversal sobre la Planta Acceso

Para este proyecto se han definido tan solo dos secciones, una transversal y una longitudinal, tal y como se observa en la imagen anterior. Esto es, ya que en vez de crear una para cada vez que se necesite una vista vertical, se ha considerado mejor opción crear dos que se desplacen cada vez que vayan a ser necesarias. De esta manera no se sobrecarga el archivo con elementos que se vayan a utilizar para definir un elemento y luego no se usen para nada más.

2.3.4 Familias

Del mismo modo que existen los bloques con los que se acostumbra a trabajar en AutoCAD, en Revit aparecen unas entidades más complejas denominadas “Familias”. Este nuevo concepto se puede definir como un grupo de elementos que tienen una representación gráfica relacionada y un conjunto de propiedades comunes, las cuales se denominan parámetros. De ahí que al principio de este capítulo se mencionaran que Revit trabaja con familias paramétricas.

Existen dos tipos de parámetros con los que se trabaja en Revit: los parámetros de ejemplar y los parámetros de tipo. La diferencia básica que hay entre ellos es que el primero hace referencia a un único elemento y que, en caso de que se modificara, tan solo varía dicho elemento modelado. En cambio, el segundo involucra a un tipo de familia entera, de modo que si se modifica este haría que cambiaran todos los elementos de ese tipo que se han modelado.

Dentro de las Familias se pueden encontrar tres tipos:

- Familias del sistema. Son aquellas que vienen predefinidas en Revit y son elementos básicos, como los que se pueden introducir en una construcción cualquiera. Por ejemplo, un muro o un suelo.

- Familias cargables. Son aquellas que se utilizan para crear componentes de edificación, como una puerta o mueble; componentes de un sistema, como una caldera; o elementos de anotación, como símbolos o etiquetas. Estas se pueden importar a partir de archivos RFA creados externamente.
- Familias in situ. Son aquellas creadas por el usuario. Son elementos únicos y exclusivos creados para las necesidades específicas de un proyecto.

Para el proyecto actual se necesitarán cargar varios tipos de familia que se consideran necesarios en la Memoria Descriptiva. Estos tipos de familias son los pilares estructurales IPN, de los cuales se necesitarán diversos perfiles, las vigas estructurales, denominadas en Revit como armazón estructural, que serán igualmente de tipo IPN y, por último, las cruces de San Andrés, los cuales también serán armazón estructural, pero en vez de IPN en este caso serán barras redondas.

Estas familias, como se ha mencionado serán cargables y el proceso es muy sencillo. Tan solo hay que ir a la pestaña de “Insertar”, donde se encuentra en el grupo de acciones “Cargar desde biblioteca” la opción “Cargar familia”. Si se pulsa ese botón aparece una ventana como la siguiente con las distintas librerías de familias:

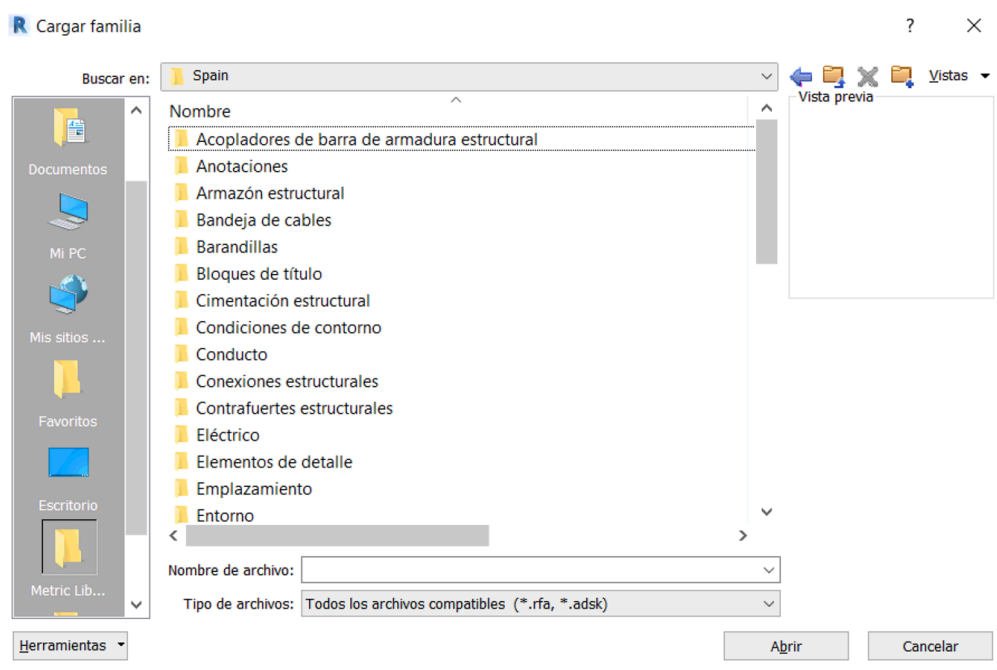


Ilustración 8 – Ventana para cargar familias

Cada categoría que aparece dentro de una librería, como es la de armazón estructural o elementos de detalle que se observan en la imagen anterior, es distinta a otra, es decir, si está la categoría de pilar y la de pilar estructural y se ha cargado un pilar, refiriéndose estos a los arquitectónicos, a la hora de modelar en la categoría de pilar estructural no aparecerá el del arquitectónico por ser diferentes.

Para evitar este tipo de confusiones será más fácil cargar las familias antes de modelar el elemento, ya que saldrá la opción en la barra de herramientas y en caso de querer introducir un elemento de otra categoría saldrá error.

Para el proyecto actual se han introducido varios de los perfiles de los tipos de familia que se comentan tanto en este capítulo como en la Memoria Descriptiva, sin embargo, más adelante podrán ser necesarias otras familias o más perfiles de los que ya se han introducido.

Una vez se han realizado estos pasos, queda definido el proyecto de forma que se puede empezar con el modelado de la estructura, el cual se comenzará con la colocación de los pilares.

2.4 Posicionamiento de los pilares

En el apartado anterior se ha generado las rejillas y los niveles a partir de la información que facilitaba el vínculo de arquitectura, sin embargo, ahora para modelar se podrán necesitar más elementos de ambos tipos. En la imagen que aparece a continuación se aprecia la distribución de pilares que se ha planteado para la estructura, incluyendo dichas rejillas que se ha visto preciso crear para una mayor definición a la hora de colocar los pilares.

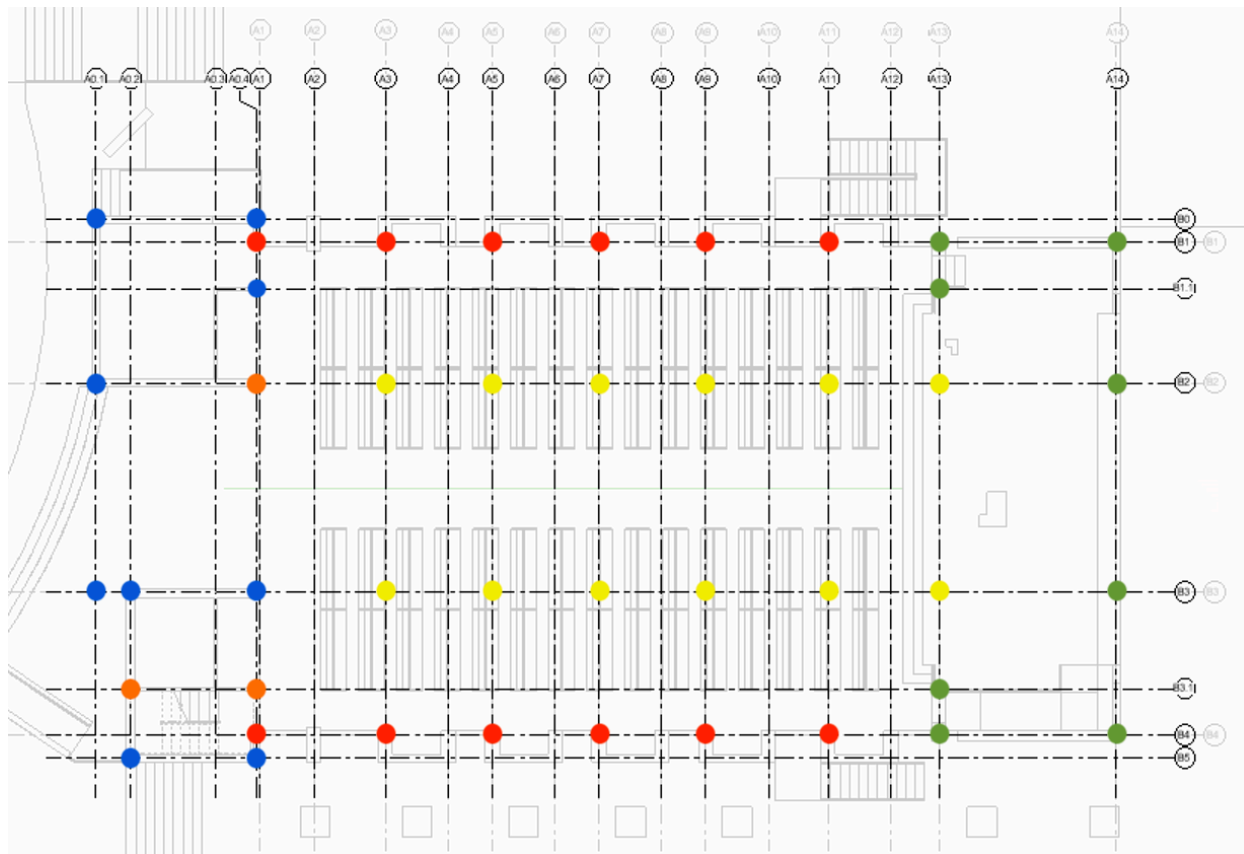


Ilustración 9 – Distribución de pilares

Como se puede observar se ha creado un sistema de colores para diferenciar los pilares con unas características diferentes. Estas características son los parámetros de ejemplar que se comentaban anteriormente y es muy importante dejarlos bien claros.

Para crear los pilares Revit ofrece tres formas de hacerlo: colocándolos uno por uno, haciéndolo mediante las rejillas o, en caso de que los haya, copiando los pilares arquitectónicos como se hizo con las rejillas procedentes del vínculo. En este proyecto no hay pilares arquitectónicos, por lo que se hará mediante las rejillas, siendo este procedimiento el más rápido y sencillo.

Lo primero que se hace es abrir la ventana del nivel ES0-Cimentación, ya que será el nivel al que se asociará la base de los pilares. Después se ha de clicar en el botón “Pilar”, el cual se encuentra a la izquierda dentro de la pestaña “Estructura”. Una vez hecho esto, a la derecha de la barra de herramientas aparece la opción “En rejillas”, quedando tan solo que seleccionar las rejillas en cuyos cruces se posicione un pilar según el planteamiento de la imagen anterior.

Las características o parámetros de los que se hablaba se ven en Revit en la tabla de propiedades que se encuentra a la izquierda de la pantalla, la cual tiene una forma igual a la de la siguiente imagen:

Propiedades	
IPN- Secciones en I con alas cónicas - Pilar IPN 200	
Pilares estructurales (1) Edit tipo	
Restricciones	
Marca de ubicación de ...	A14-B3
Nivel base	ES0- CIMENTACIÓN
Desfase de base	0.0000
Nivel superior	ES5-ALTAR
Desfase superior	0.0000
Estilo de pilar	Vertical
Se mueve con rejillas	<input checked="" type="checkbox"/>
Materiales y acabados	
Material estructural	Acero S275
Estructura	
Conexión de parte supe...	Ninguno
Conexión de base	Ninguno
Activar modelo analítico	<input checked="" type="checkbox"/>
Cotas	
Volumen	0.046 m³

Ilustración 10 – Tabla de propiedades de un pilar del altar

Se pueden destacar los siguientes parámetros, los cuales son imprescindibles especificar para cada perfil:

- Marca de ubicación del pilar. Establece la ubicación de las coordenadas del pilar en la rejilla del proyecto, es decir, marca las dos rejillas que se cruzan en la ubicación del pilar.
- Nivel de base. Se restringe un nivel al cual la base del pilar se asociará y, en caso de modificarse el nivel, el pilar se ajustará automáticamente.
- Desfase de la base. En este caso es cero, pero en otros elementos no. Es una distancia fija a la que puede permanecer la base del pilar respecto al nivel base al cual se asocia en el parámetro anterior.
- Nivel superior. Es igual que el nivel de base, pero respecto a la parte superior del pilar.
- Desfase superior. Es igual que el desfase de la fase, pero respecto al nivel superior.
- Material estructural. Como se puede observar está seleccionado el material que se planteó en la Memoria Descriptiva que iban a tener los elementos estructurales metálicos de la construcción. Esta selección es necesaria para que cuando se exporte a Robot se conozcan las características mecánicas con las que actúa dicho elemento.

Los parámetros que aparecen en la imagen incumben a los pilares de la Zona Altar, los cuales en la imagen de la distribución de los pilares corresponden a los de color verdes. A continuación, se hace una breve descripción de los parámetros de los pilares según el sistema de colores:

- Pilares Verdes. Son los que forman los pórticos de la Zona Altar y van desde la Planta ES0-Cimentación hasta la Planta ES5-Altar, siendo ambos desfases nulos.
- Pilares Rojos. Son los que forman los pórticos de la Zona Bancos y van desde la Planta ES0-Cimentación hasta la Planta ES4-Alero, teniendo tan solo un desfase positivo de 20 cm en la parte superior.

- Pilares Azules. Son los que forman los pórticos de la Zona Entrada y van desde la Planta ES0-Cimentación hasta la Planta ES4-Alero, teniendo tan solo un desfase negativo de 40 cm en la parte superior.
- Pilares Amarillos. Son los que sujetarán el forjado de las Zonas Bancos y Altar. Van desde la Planta ES0-Cimentación hasta la Planta ES2-Acceso y ambos desfases son nulos.
- Pilares Naranjas. Son pilares que sujetan parte del peso de la planta coro y el de la escalera. Van desde la Planta ES0-Cimentación hasta lo correspondiente a cada uno, que para el que sujeta el coro es hasta la planta ES3-Coro, mientras que para los dos de la escalera es hasta la Planta ES2-Acceso con un desfase positivo de 1,2 m uno y hasta la Planta ES3-Coro con un desfase negativo de 1,1 m para el otro.

Hay que comentar también que todos los pilares se han elegido de un perfil IPN 200 como primera aproximación, no obstante, cuando se realice el análisis de la estructura con Robot igual habrá que modificar algunos de ellos.

La distribución de pilares desde una vista en 3D de la construcción queda finalmente como se muestra en la imagen de a continuación, en la que los elementos arquitectónicos aparecen en formato subyacentes:

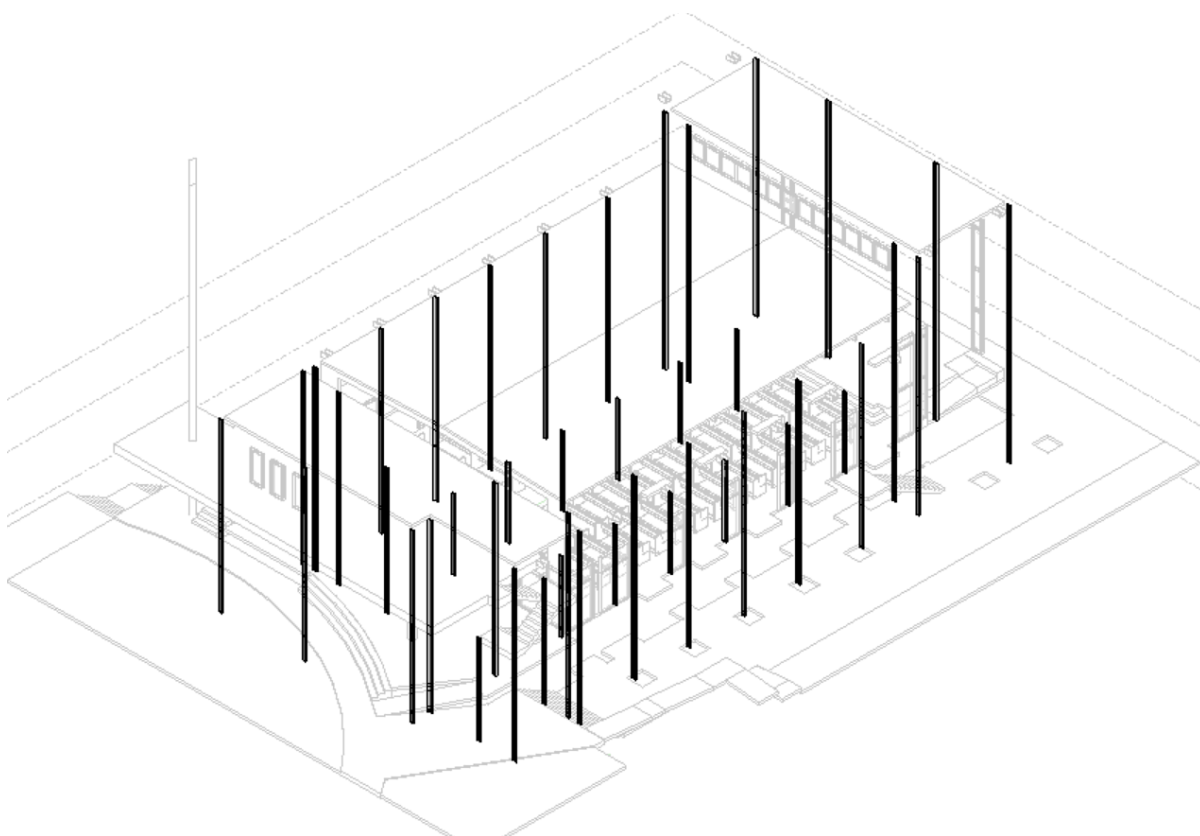


Ilustración 11 – Distribución de pilares en vista 3D

2.5 Posicionamiento del armazón estructural de las plantas

El siguiente paso después de colocar los pilares será el de modelar las vigas de atado, también denominadas armazón estructural. El procedimiento para ello será muy parecido al que se acaba de realizar con los elementos anteriores, habiendo en este caso tan solo dos formas: manualmente o mediante rejillas.

Para crear las vigas habrá que situarse en el nivel donde se asociarán estos elementos, por ejemplo, si se van a modelar las que forman el perímetro de la planta acceso habrá que situarse en la Planta ES2-Acceso.

Una vez se está en el nivel que se quiere y se ha cargado la familia del perfil IPN 200 el cual se va a utilizar, se va a la pestaña de “Estructura” y se clicla en el botón “Viga”, encontrándose este al lado que el de “Pilar”. En el mismo lugar que antes aparece la opción “En rejillas”, con la cual tan solo seleccionando una rejilla en la que se encuentren dos pilares se creará el armazón entre los dos elementos.

Aunque todavía no se vaya a hablar del modelo analítico, cabe mencionar que mediante el procedimiento que se acaba de describir se podrán descubrir errores en este posteriormente, por lo que se decide modelar las vigas manualmente. De esta forma se puede asegurar que los elementos estén conectados donde se quiere y no den una falsa apariencia de ello.

Tras realizar esta operación en todas las plantas, se obtiene como resultado lo que se muestra en la imagen de a continuación:

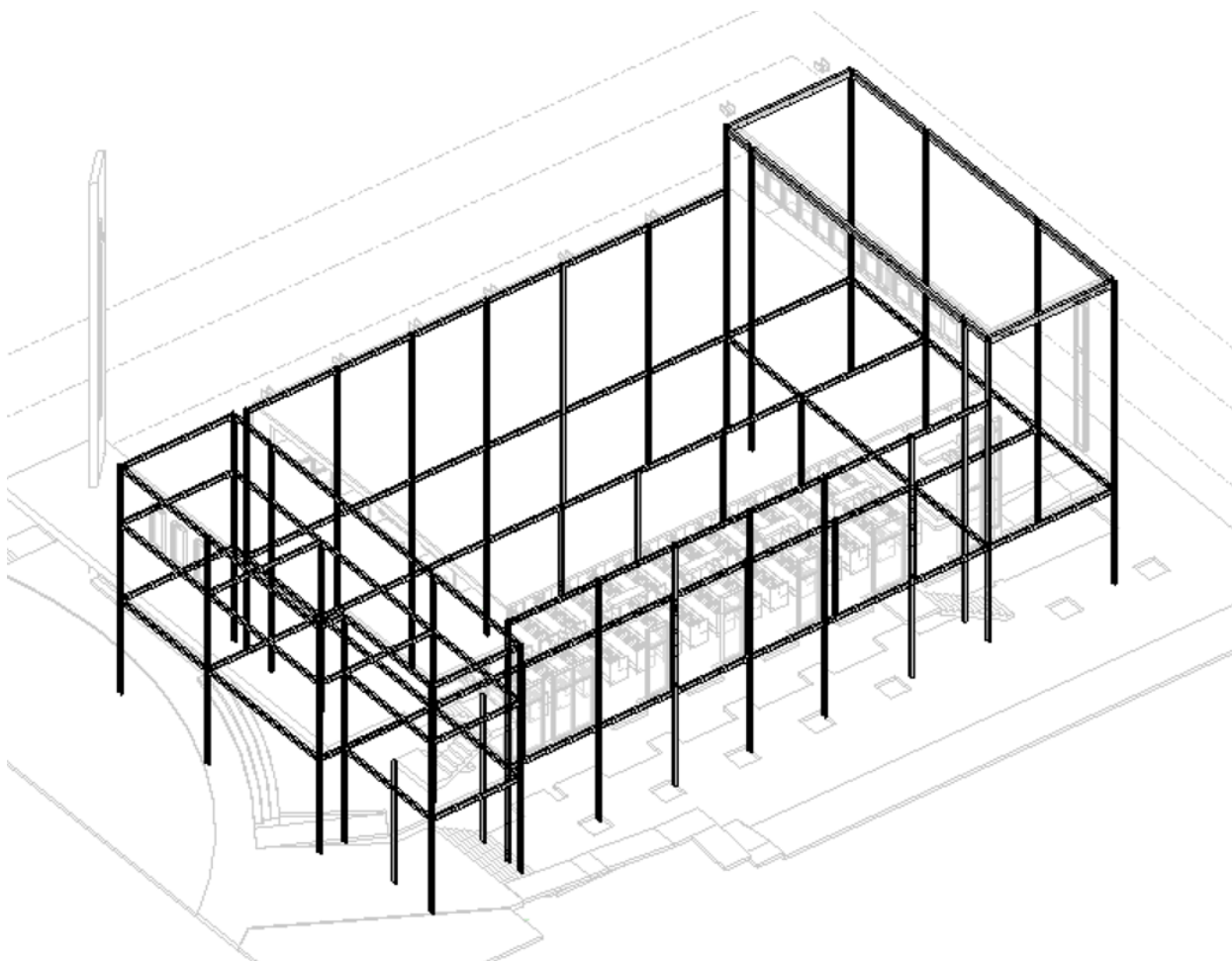


Ilustración 12 – Estructura con vigas de atado en cada planta

Si se presta atención a la zona de la entrada, se aprecia que en el modelo arquitectónico subyacente hay varios elementos que todavía no se han modelado. Entre ellos se encuentran un voladizo en la planta del coro y los descansillos de la escalera que sube de la planta acceso a la del coro. Para el voladizo no habrá más que modelar las vigas que lo vayan a resistir, pero para los descansillos habrá que crear un par de niveles más que faciliten el modelado de esta zona. El resultado del modelado, a expensas de crear la escalera, quedará de la siguiente forma:

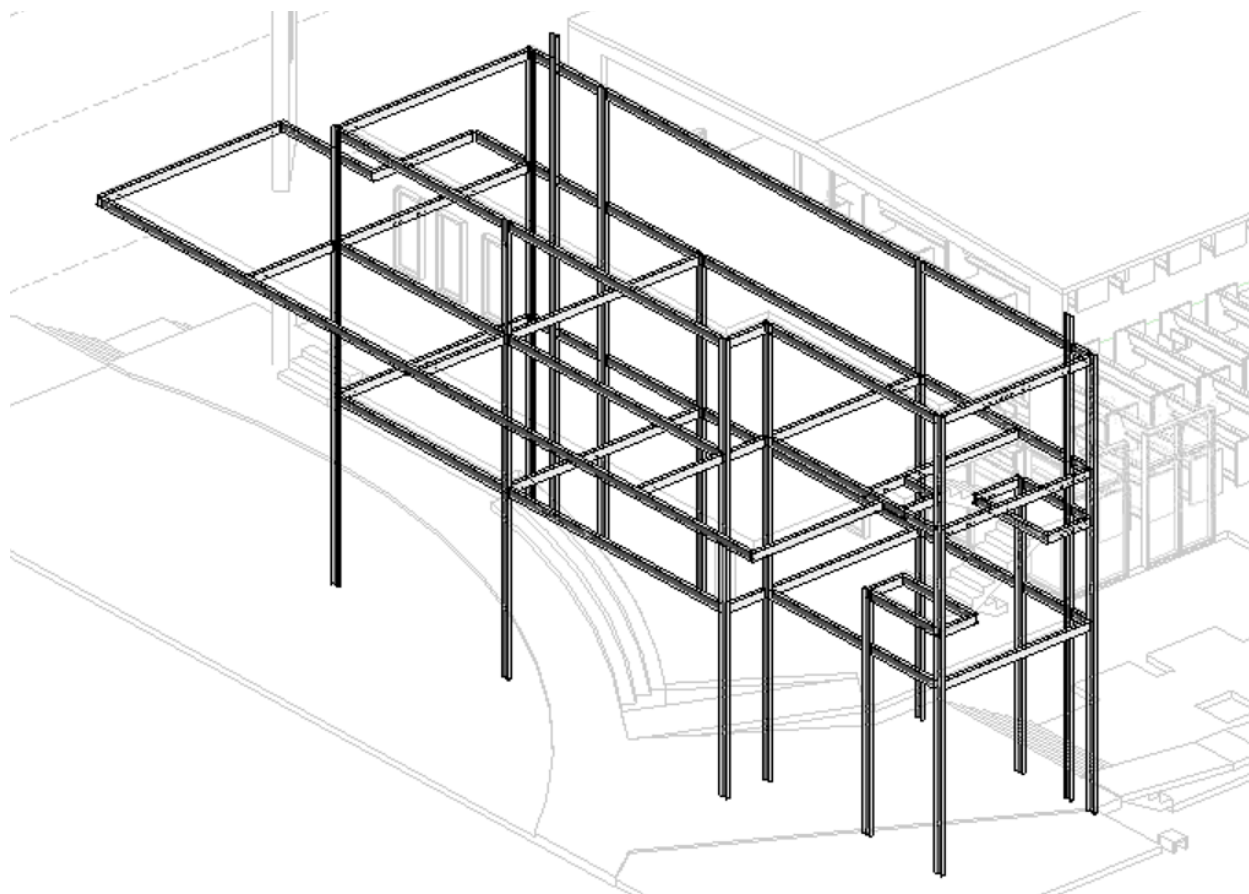


Ilustración 13 – Estructura de la Zona Entrada

2.6 Escalera

El modelado de la escalera se realiza de una forma diferente a como se ha hecho con el armazón estructural en el apartado anterior, en este caso se utiliza la opción “Forzado de cursor 3D”, el cual permite modelar las vigas en una vista 3D.

Con esta forma de modelar y con una nueva vista 3D en la que, con ayuda de la herramienta “caja de sección”, solo se aprecia la zona donde se ubicará la escalera, se modelan las vigas en las que irán los tramos de escaleras conectados de un descansillo al otro, obteniéndose la estructura de la siguiente imagen:

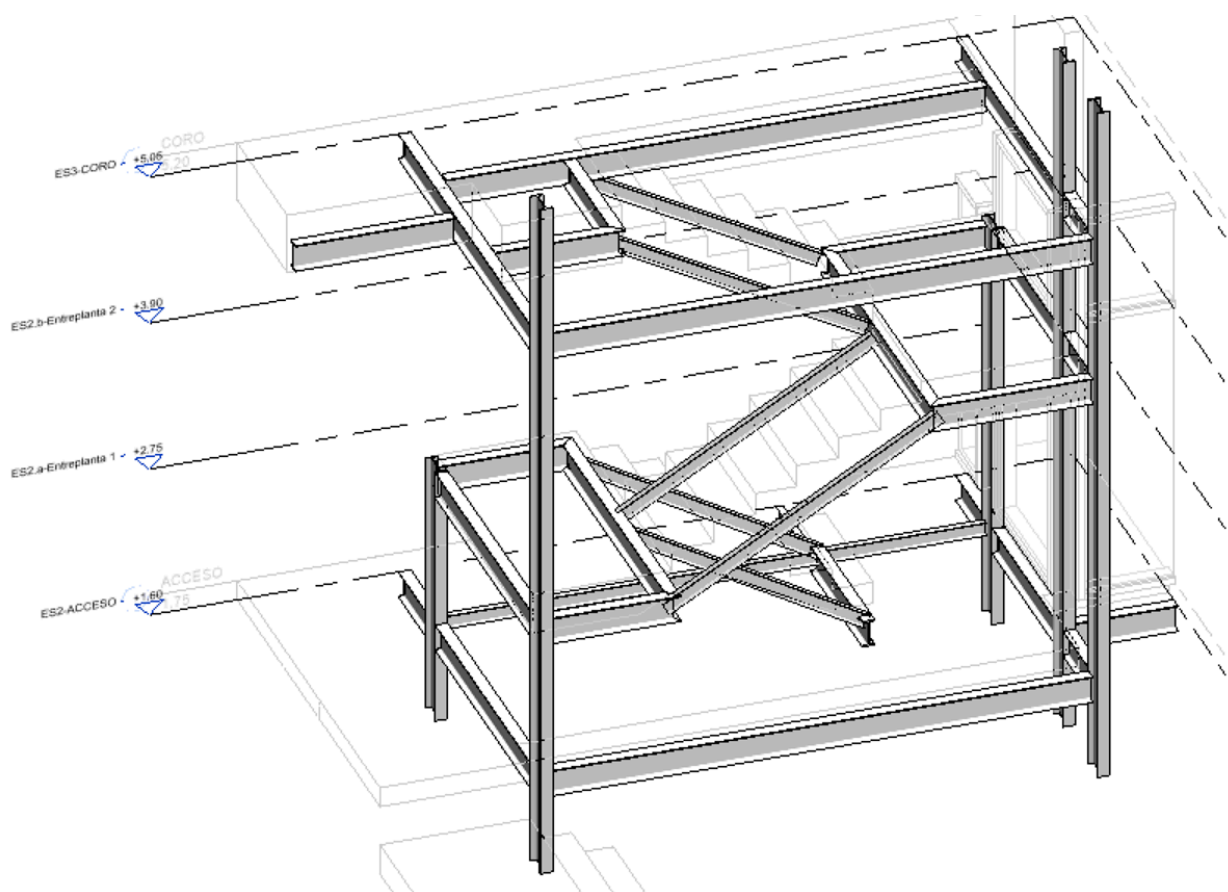


Ilustración 14 – Vigas de la escalera

Se puede destacar de la imagen anterior, aparte de las vigas que unen los descansillos y que funcionarán como escalera, los niveles que se crearon para la realización de dichos descansillos.

Faltaría ahora unas vigas que hagan de escalones de la escalera, por lo que se recurre para ello a una función que ofrece Revit llamada “Sistema de vigas”. Esta opción se encuentra dentro de la pestaña de “Estructura”, a la derecha del botón “Pilar”, y para modelar con este procedimiento habrá que definir un plano. Para ello, se ha de pulsar en el botón “Definir”, ubicado a la derecha de la barra de herramientas, lo que hará que salga una ventana que ofrece las siguientes opciones:

- Nombre. Aquí aparece una ventana desplegable con todas las rejillas y niveles que se han creado, por lo que se trabajará sobre el que se seleccione.
- Seleccionar un plano. En esta opción se puede seleccionar cualquier superficie plana de un elemento y se trabajará sobre ella.
- Seleccionar una línea. Al seleccionar una línea se trabajará sobre el plano en el que se creó.

Para el caso de la escalera, las vigas no se encuentran en ningún plano perteneciente a una rejilla o nivel debido a que se han creado en una vista 3D, por lo que se descartan la primera y tercera opción, eligiendo por tanto la segunda.

Una vez seleccionada la dicha opción y el plano que forma la superficie superior de una de las vigas que se han modelado en el paso anterior, se ha de dibujar las líneas de contorno que conformarán el sistema de vigas, el cual será un rectángulo con ancho igual al de la distancia entre ambas vigas y con alto igual a lo largo de las mismas vigas. Antes de finalizar pulsando el tic verde y que se genere el sistema de vigas, habrá que configurarlo, para ello ha de irse al cuadro de propiedades, el cual tendrá los siguientes parámetros:

Propiedades	
<div> <div></div> <div>Sistema de vigas estructurales Sistema de armazón estructural</div> </div>	
Sistemas de vigas estructurales	▼ Editar tipo
Restricciones	
3D	<input type="checkbox"/>
Plano de trabajo	IPN - Secciones en I con ...
Patrón	
Regla de diseño	Distancia fija
Espaciado fijo	0.8000
Espaciado de eje	0.8000
Justificación	Centro
Tipo de viga	IPN - Secciones en I con ...
Datos de identidad	
Etiquetar nuevos eleme...	Plano estructural: ES5-AL...
Imagen	
Comentarios	
Marca	

Ilustración 15 – Propiedades de un Sistema de vigas

La característica más importante de las propiedades de un sistema de vigas es el parámetro que se llama “Regla de diseño”. Si se clicca a la derecha de este parámetro, aparecen las siguientes cuatro opciones para diseñar este tipo de elementos, concretamente el número que habrá de ellos:

- Distancia fija. Aquí se selecciona una distancia fija entre vigas dentro del área, la cual se ha dibujado mediante las líneas de contorno, habrá la cantidad máxima de vigas que puedan caber estando a la distancia entre ejes que se especifique en el parámetro “Espaciado fijo”.
- Número fijo. Esta opción creará dentro del área el número fijo de vigas que se establezca, las cuales se distribuirán de manera uniforme quedando centradas en el sistema.
- Espaciado máximo. Permite especificar una distancia máxima entre los ejes de las vigas, generándose el número de estas que correspondan y quedando centradas también en el sistema.
- Espaciado libre. Esta alternativa mide las partes exteriores de las vigas, en el caso de que se ajuste una viga individualmente el resto se moverá para mantener la distancia que se especifique entre unas y otras.

Entre las cuatro opciones se elige la de “Número fijo”, ya que se contará el número de escalones que hay por tramo y se generará una viga por cada uno de ellos.

Hay que comentar también que los perfiles que se han elegido para la escalera son un IPN 100, que para el caso del sistema de vigas se elige en el parámetro “Tipo de viga”, el cual se encuentra en la tabla de propiedades también.

Habiendo ya modelado el sistema de vigas, la estructura queda tal y como se observa en la siguiente imagen:

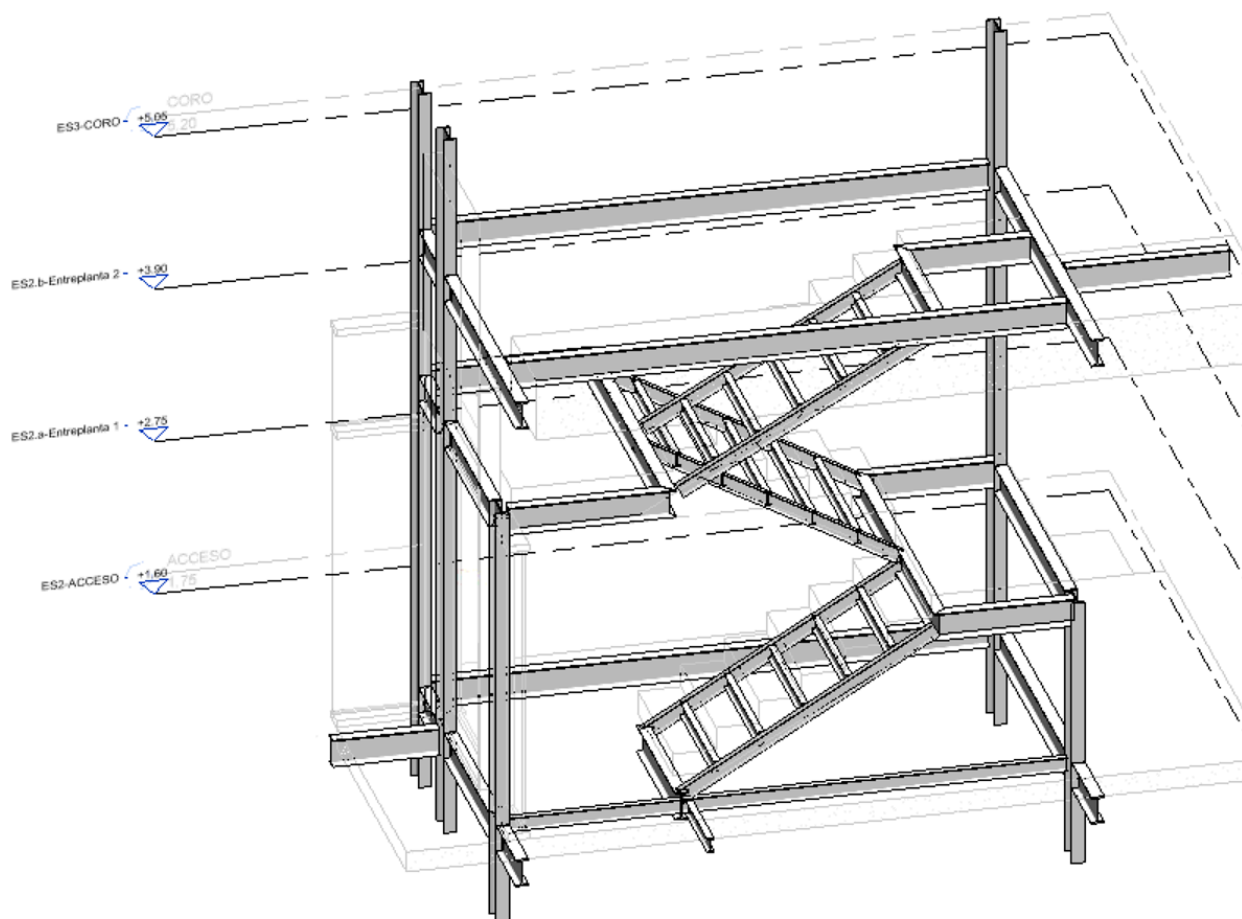


Ilustración 16 – Escalera con sistema de vigas para los escalones

2.7 Cubiertas

Respecto al modelado de las cubiertas, ha de comentarse que se ha basado en los elementos arquitectónicos que había creados en el vínculo para soportar dichos cerramientos. No se modelará las cubiertas en sí, ya que se aplicará su peso como cargas permanentes en el apartado de introducción de cargas.

En los siguientes apartados se hace un breve comentario acerca de las cubiertas de las 3 zonas en las que se divide la estructura:

2.7.1 Cubierta Zona Altar

Como se puede apreciar en la siguiente imagen obtenida del modelo arquitectónico, la cubierta de esta zona se sostiene a partir de una especie de rejilla de vigas perpendiculares entre sí:

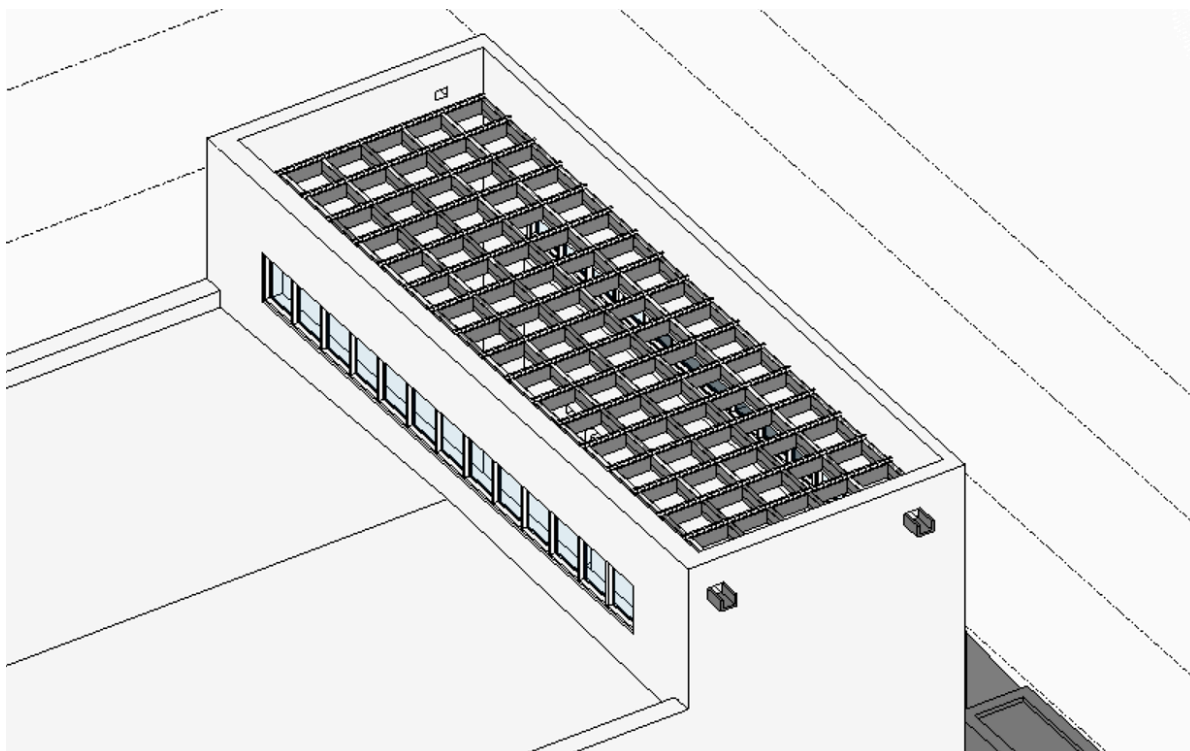


Ilustración 17 – Cubierta arquitectónica de la Zona Altar

Basándose en esto, se realiza en Revit el modelado de una estructura similar mediante dos sistemas de vigas, los cuales resistirán la cubierta y los propios elementos arquitectónicos que se observan. En ambos sistemas de vigas se utiliza la regla de diseño “Distancia fija”, ya que, con ayuda de las secciones transversal y longitudinal, se ha medido dicha distancia entre las vigas arquitectónicas para que las del modelo estructural queden integradas en ellas.

El resultado del modelado descrito es el que se observa en la imagen de a continuación:

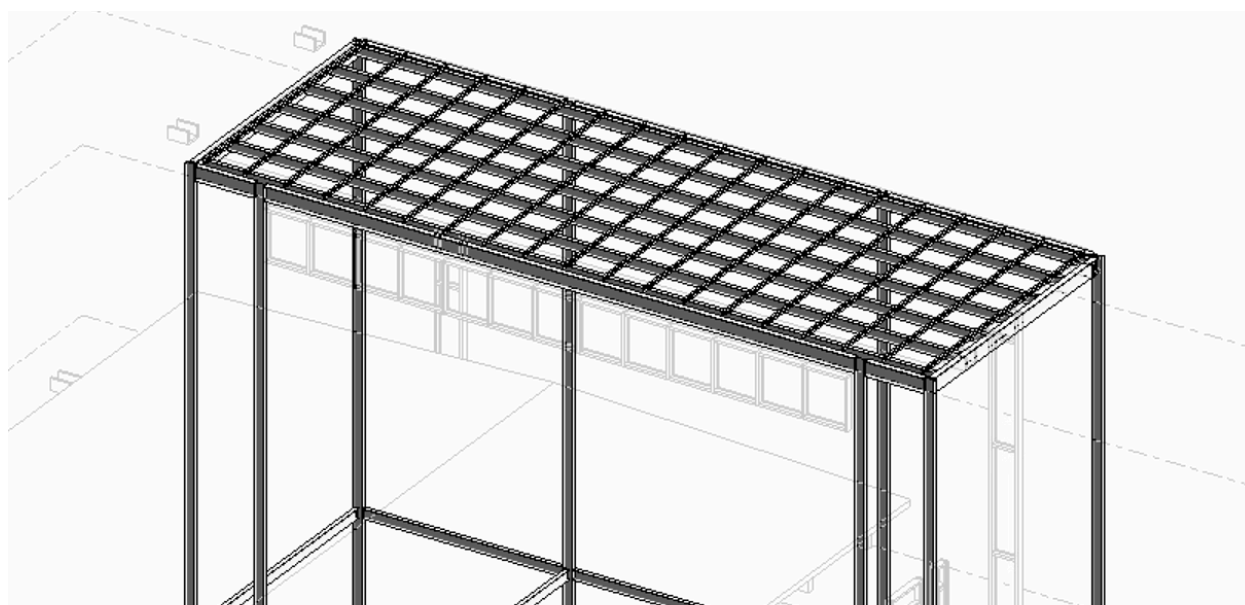


Ilustración 18 – Cubierta estructural Zona Altar

Los perfiles que se han utilizado son ambos IPN, siendo un IPN 80 para las correas, las cuales forman el sistema de 19 vigas, mientras que, para el otro, el cual está compuesto por 7 vigas, se utiliza un IPN 200. Hay que comentar también que el primero se encuentra apoyado sobre las vigas perimetrales de la cubierta y sobre el segundo sistema.

2.7.2 Cubierta Zona Bancos

Para la cubierta de esta segunda zona, al tener una pequeña inclinación, se realiza un modelado diferente al de la anterior. En la siguiente imagen se puede ver la que ha sido diseñada por el arquitecto y en la que se basa la estructural:



Ilustración 19 – Cubierta arquitectónica de la Zona Bancos

Como se puede apreciar, hay vigas inclinadas que forman parte de los pórticos, las cuales tienen unos huecos por donde deberán ir las correas que sostengan la cubierta de la actual zona.

Las vigas de los pórticos se modelan asociándolas a la Planta ES4-Alero y añadiéndoles un desfase de nivel positivo de 27 cm en la cumbrera. Hay que comentar que, dentro de las propiedades de las vigas, en el apartado “Posición Geométrica” se puede encontrar dos parámetros destacables para el actual modelado:

- Justificación Z. Este parámetro ofrece cuatro opciones: Origen, Parte superior, Centro o Parte inferior. Estas harán que el modelo físico se desplace con referencia al nivel asociado de la siguiente forma:

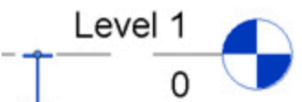
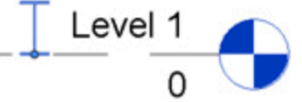
Centro/origen	Arriba	Parte inferior
		

Ilustración 20 – Justificación Z de las vigas

En este caso, al igual que pasaba con el sistema de 19 vigas de la cubierta de la Zona Altar, se utilizará la justificación Z de “Parte Inferior”, representada en la imagen anterior.

- Valor de desfase Z. Como se comentó en el apartado de distribución de pilares, los que formaban los pórticos en la Zona de Bancos tendrían un desfase superior positivo de 40 cm, por lo que las vigas en esta zona también lo tendrán en su conjunto. Aparte está el desfase de nivel inicial y final, que es en el que se indicará el desfase positivo de los 27 cm que se comentaba para la zona central.

Una vez se han modelado las vigas de los pórticos se procede a hacerlo con las correas, lo cual se ha realizado a través de un sistema de vigas. Este sistema es diferente, ya que los huecos que aparecían en las vigas arquitectónicas no tenían una distancia fija, por lo que se han hecho dos sistemas de vigas con la regla de diseño “Distancia fija” y luego se ha permitido el movimiento de cada una por separado. Finalmente, con ayuda del comando “Alinear”, se han posicionado en el hueco que le corresponde a cada una. Este sistema de vigas también tendrá una justificación Z de “Parte inferior”, situándose encima de las vigas que se han modelado en el paso anterior y que forman los pórticos de esta zona.

A continuación, se puede observar el resultado del proceso de modelado que se ha llevado a cabo en este apartado:

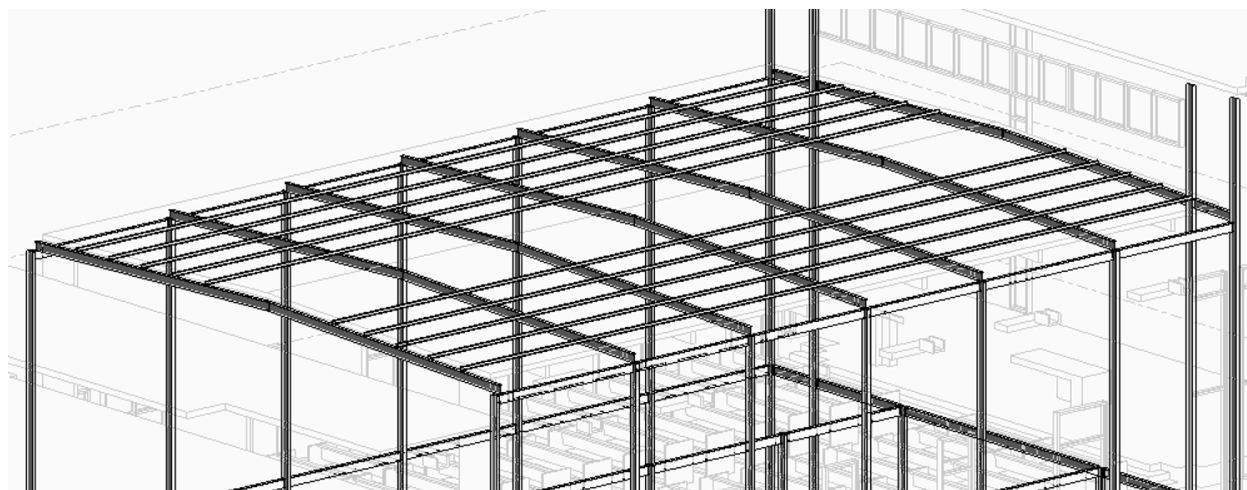


Ilustración 21 – Cubierta estructural de la Zona Bancos

2.7.3 Cubierta Zona Entrada

Esta cubierta es la más pequeña y, a diferencia de las otras y como se aprecia en la imagen de abajo, no viene ningún tipo de estructura que la sostenga en el modelo arquitectónico.

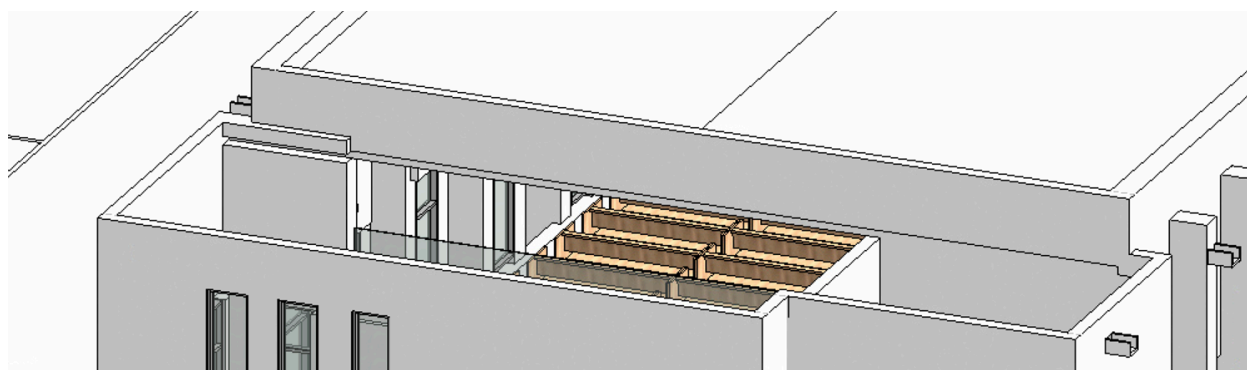


Ilustración 22 – Cubierta arquitectónica de la Zona Entrada

En este proyecto, como va a ser necesaria una estructura de correas en la que se le apliquen las cargas posteriormente y, además, como elemento resistente de la cubierta también serán necesarias, se ha decidido realizar un sistema de vigas para cubrir dichas necesidades. Este sistema será igual que los que se han venido haciendo, es decir, con justificación Z de “Parte inferior” y con la regla de diseño de “Distancia fija”. Tan solo habrá una diferencia y es que, al tener una forma irregular, se ha generado un área de contorno con la forma irregular de la cubierta y no con una forma rectangular.

Además de eso se han añadidos vigas perpendiculares que soporten dicho sistema en la zona intermedia de la cubierta, generando asimismo una mayor resistencia en la estructura.

Se obtiene, por tanto, la siguiente estructura para la cubierta de esta zona:

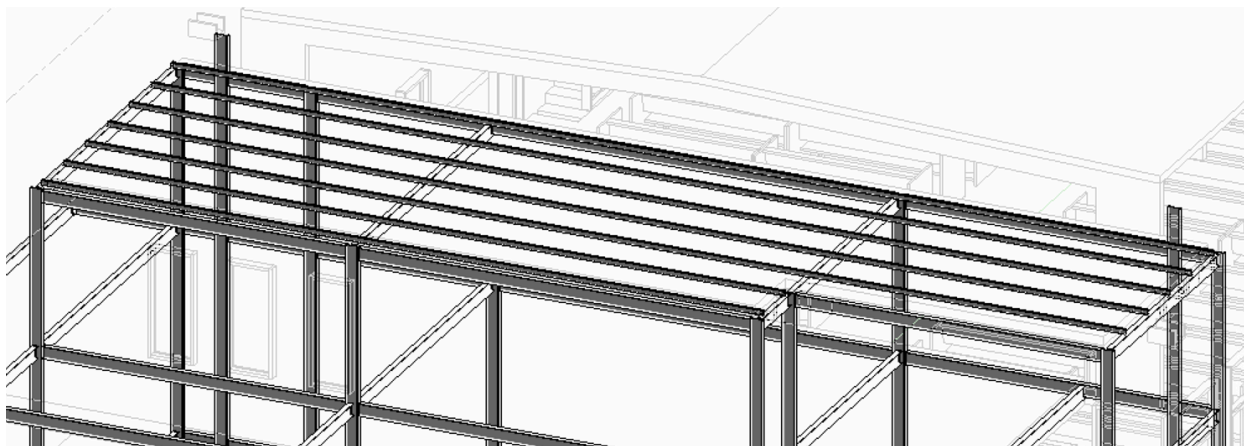


Ilustración 23 – Cubierta estructural de la Zona Entrada

2.8 Forjados

A la hora de plantear los forjados se realizaron dos posibles planteamientos: un sistema de vigas al que se le apoya una chapa metálica en la que se aplica directamente la capa de compresión de hormigón, o bien, un sistema de vigas con bovedillas de cerámica entre medio de estas y, sobre dicha estructura, la capa de compresión también de hormigón. Finalmente, por seguridad frente al fuego y por ofrecer una mayor resistencia, se ha elegido la segunda opción. Respecto al modelado, es indiferente cuál de las dos opciones se elija, ya que tan solo se modelará el sistema de vigas en el que se aplicarán las cargas respectivas al resto de elementos que soporten.

Hay que mencionar que Revit ofrece la opción de modelar un suelo al cual se le aplique posteriormente un mallazo metálico en su interior, pero a la hora de realizar el análisis en Robot será más sencillo si se cuenta con dichos elementos simplemente como cargas permanentes de la estructura.

En los siguientes apartados se hace un breve comentario acerca de los forjados de las distintas zonas en las que vaya a construirse un suelo:

2.8.1 Forjado Zona Altar

En esta zona el modelado es simple, tan solo es el sistema de vigas que cubre el área rectangular de la planta baja de esta parte. Seguirá la regla de diseño de “Distancia fija” de 80 cm y tendrá una justificación de “Parte inferior”, obteniéndose el siguiente resultado:

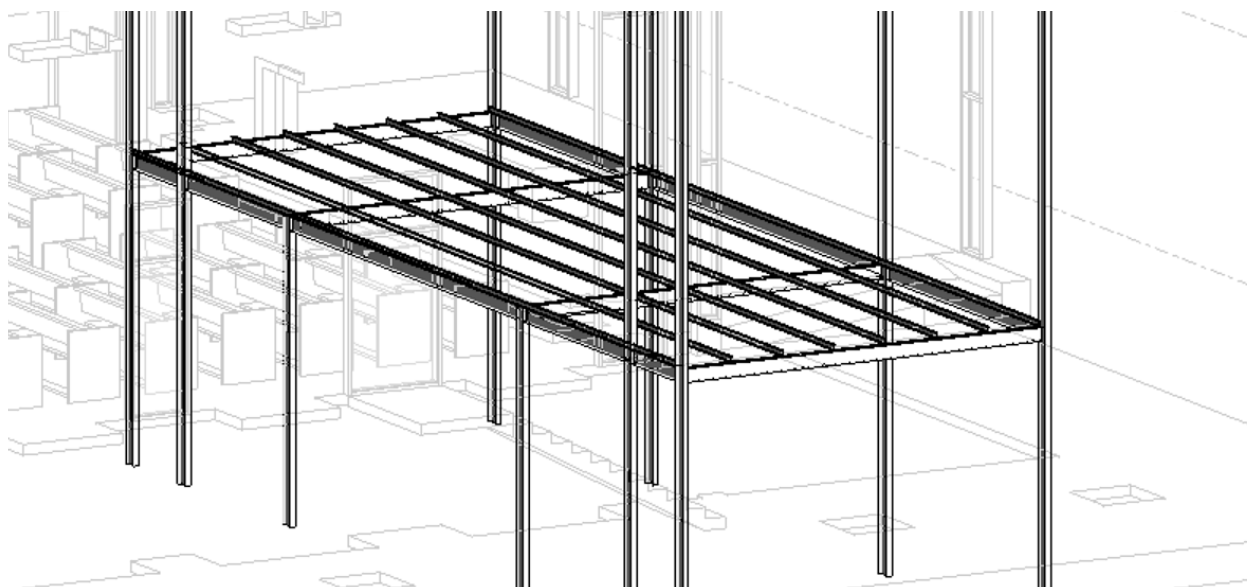


Ilustración 24 – Forjado de la Zona Altar

2.8.2 Forjado Zona Bancos

Para el forjado de esta zona el procedimiento será el mismo, incluyendo también las mismas reglas de diseño y justificación. El resultado es el que se observa en la imagen de a continuación:

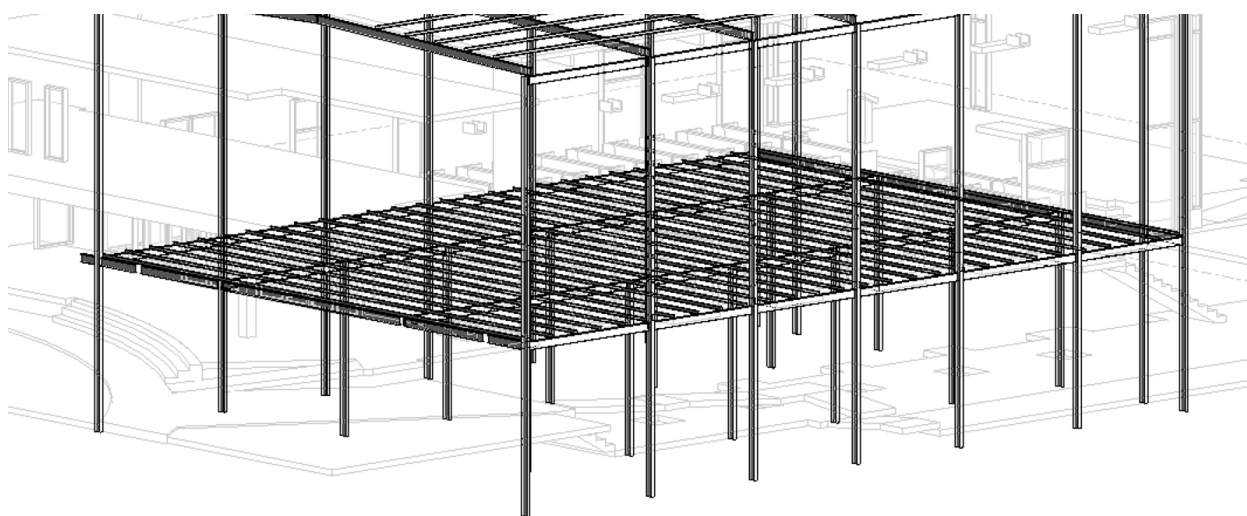


Ilustración 25 – Forjado de la Zona Bancos

2.8.3 Forjados Zona Entrada

En este caso no se realizará un forjado para la planta baja entera de la zona, sino que se ha decidido realizar uno distinto para las tres partes que la componen: Entrada Norte, Entrada Centro y Entrada Sur. Esto es así ya que cada parte tendrá unas solicitaciones diferentes y, por tanto, necesitan unas características diferentes cada una.

Todas se modelarán igual, es decir, con un sistema de vigas, pero los parámetros variarán. Las zonas de Entrada Norte y Entrada Centro tendrán unas características parecidas, la única diferencia que tendrán es que las cargas de los cerramientos y tabiques será distinta. En cuanto al modelado la “Distancia fija” de la regla de diseño será prácticamente igual. En cambio, la zona Entrada Sur, al ubicarse allí la escalera se verá expuesta a una mayor solicitación de cargas y, posiblemente, habrá que modificar los perfiles o distancias. Previendo esto, lo que se ha hecho es generar un sistema de vigas con una “Distancia fija” de la regla de diseño de unos 20 cm menos que para las otras zonas.

El resultado del modelado de los forjados de esta zona es el que se ofrece en la siguiente imagen, donde se han ocultados elementos ya modelados, como la escalera, para una mejor visibilidad:

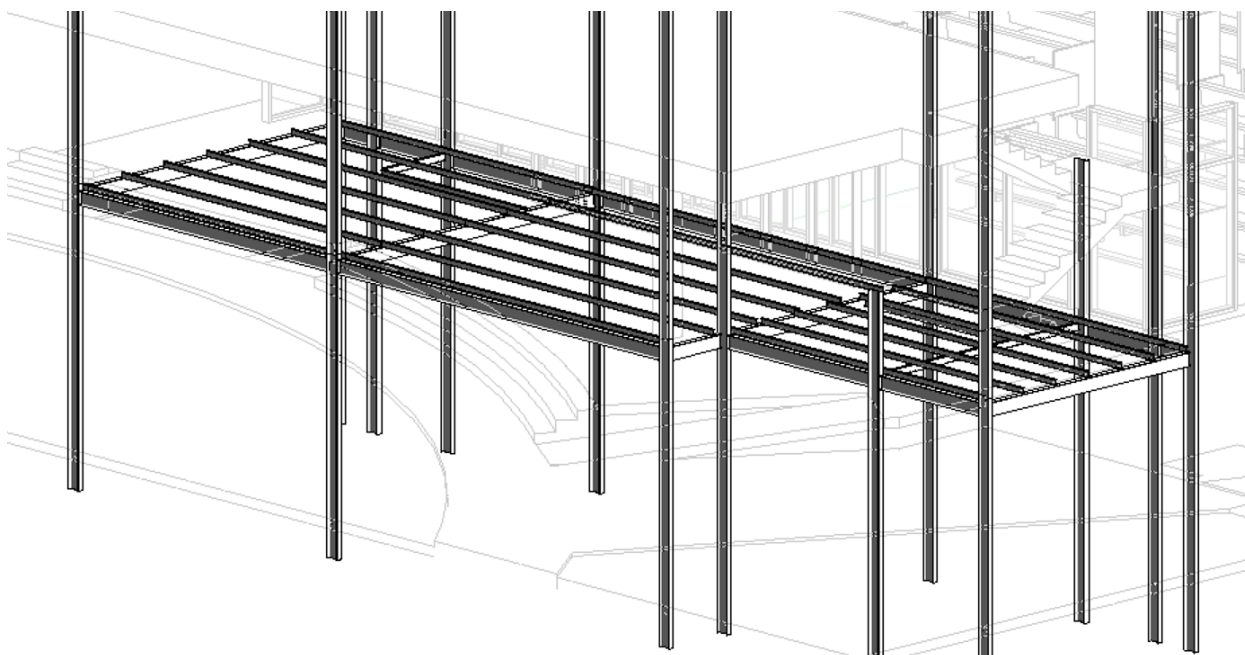


Ilustración 26 – Forjados de la Zona Entrada

2.8.4 Forjado Coro y Voladizo

En cuanto al forjado de la planta coro, se realizará en un solo sistema de vigas, el cual al cubrir tanta área se ha elegido bajo la regla de diseño de “Distancia fija” de 60 cm, habiendo así un mayor número de vigas que lo soporten. En caso de que se necesiten perfiles mayores para una parte u otra no se cambiará el perfil de todas vigas, sino que se haría por separado. El área de contorno, al igual que ocurre en el sistema de vigas de la cubierta de esta zona, tampoco tendrá una forma rectangular, sino que sigue la forma del perímetro de la planta, creándose así vigas de diferente longitud.

Como se puede observar en la imagen de a continuación, en la cual también se han ocultado elementos ya modelados, las vigas cubren la dirección más larga, situándose algunas de ellas por completo en el voladizo.

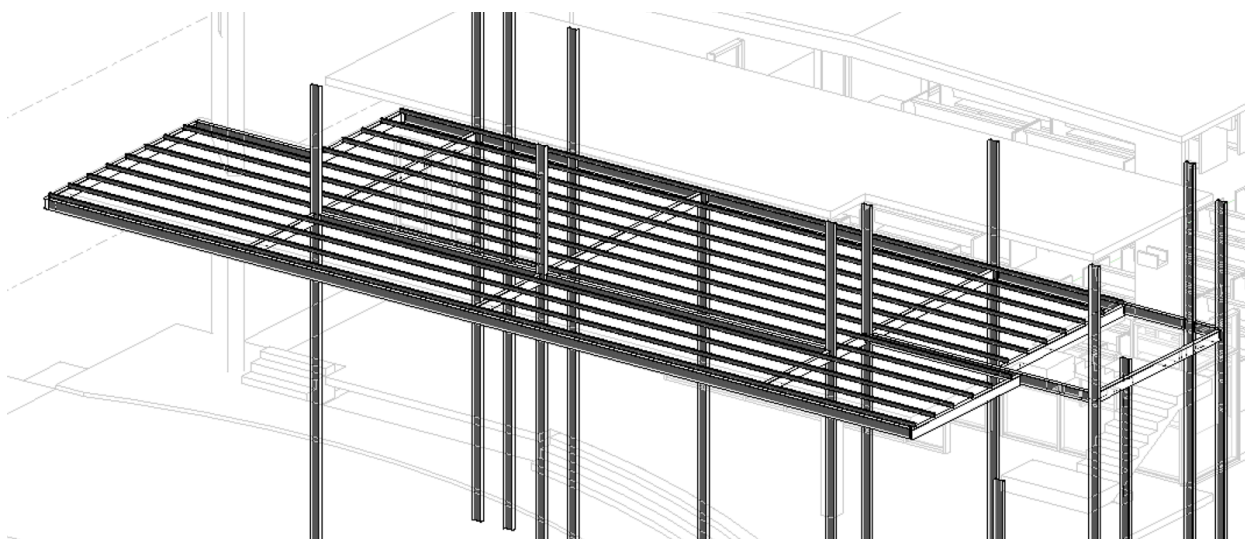


Ilustración 27 – Forjado de la Planta Coro

2.8.5 Forjados Escalera

Para la escalera, más concretamente para los descansillos de ésta, se ha decidido poner también unos pequeños forjados formados por los mismos elementos que el resto.

Se generarán tres sistemas de vigas, uno por descansillo, los cuales seguirán la misma regla de diseño de “Distancia fija”, siendo esta igual a 40 cm en este caso. La justificación Z será de “Parte inferior”, la misma que en los forjados de las demás zonas, y sobre estos también se aplicarán las cargas necesarias, como se verá en el último apartado de este capítulo.

Se obtiene, por tanto, el modelado que se observa en la imagen de a continuación:

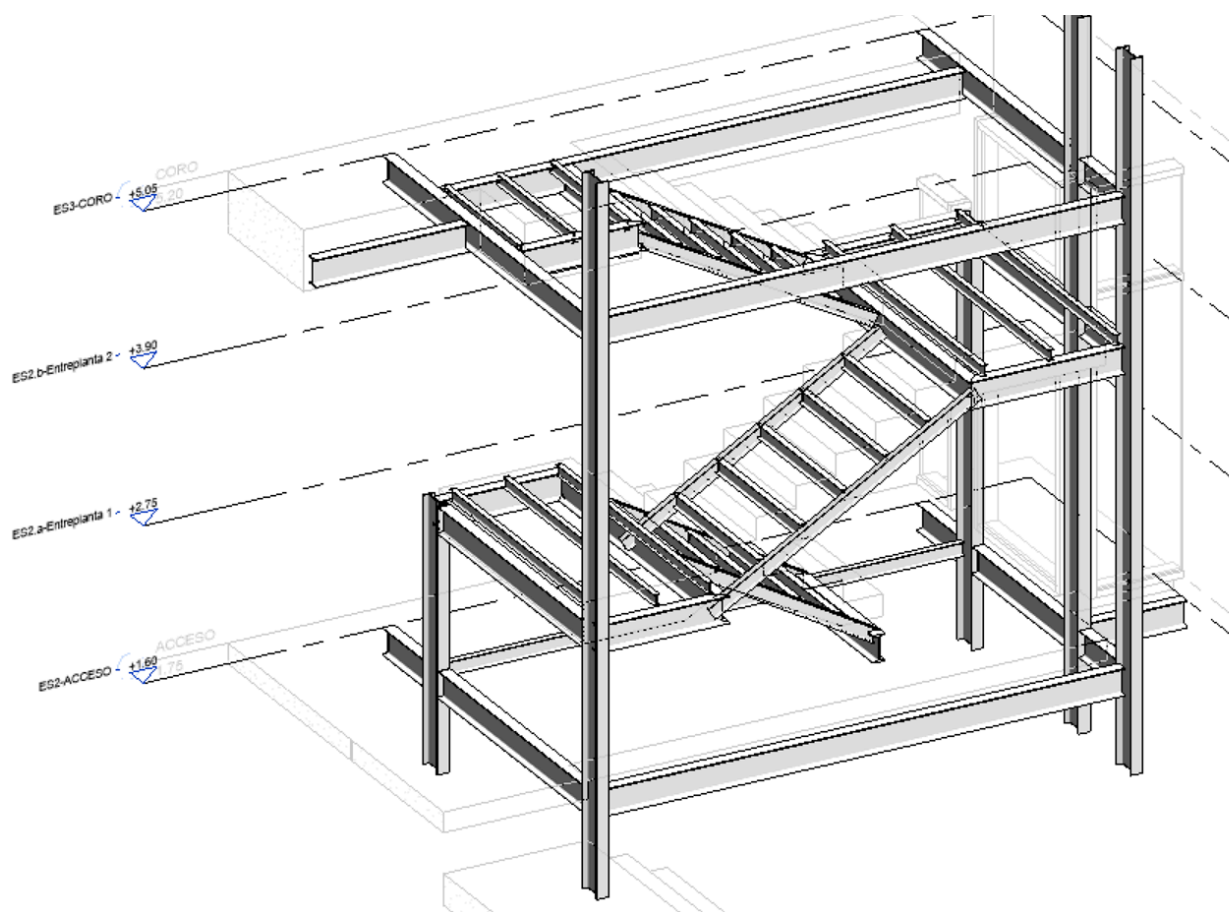


Ilustración 28 – Forjados de la escalera

2.9 Cruces de San Andrés

En estructuras esbeltas, como es el caso de la construcción del proyecto actual y más concretamente en la parte del altar, es importante tener claridad sobre los sistemas que van a resistir las cargas laterales. Un sistema comúnmente conocido es el de los arriostramientos, los cuales tienen la función de arriostrar, es decir, rigidizar o estabilizar la estructura impidiendo o limitando sus deformaciones y desplazamientos, consiguiendo transmitir las sollicitaciones laterales, generalmente originadas por sismos, vientos o elementos como los puentes grúa, hacia las cimentaciones de forma eficiente.

El tipo de arriostramiento posiblemente más utilizado es el de las “Cruces de San Andrés”, llamado así por este santo el cual fue crucificado boca abajo en una cruz en forma de X. Estos permiten reducir los desplazamientos a la vez que se produce un ahorro del material. Evitan que los pilares trabajen como ménsulas, ya que al ser elementos rígidos que trabajan a tracción transmiten ellos los esfuerzos a la cimentación en vez de los pilares trabajando a flexión.

En la estructura del actual proyecto se necesitarán arriostramientos debido a la esbeltez y diafanidad de esta, por lo que se utilizarán Cruces de San Andrés. Hay un problema a la hora de situarlas y es que hay muchos vanos en los que el arquitecto ha puesto ventanas, por lo que habrá que ayudarse del modelo arquitectónico para saber dónde colocarlas.

El perfil que se ha elegido para estos elementos es el de una barra redonda de 25 mm de diámetro y, a pesar de parecer un pilar inclinado, se ha de modelar como armazón estructural en Revit, siendo más fácil mediante el procedimiento de “Forzado de cursor 3D”.

En los siguientes apartados se hace un breve comentario acerca de las Cruces de San Andrés que se han colocado en cada lado de la estructura:

2.9.1 Cruces del lado Norte

En los laterales del edificio es donde más ventanas habrá, sobretodo en la zona de los bancos, por lo que la mayoría se encontrarán en la zona del altar o de la entrada.

Se puede apreciar en la imagen de a continuación las cruces que se han colocado, destacando que en la parte baja de la zona bancos unas diagonales en tramos intermitentes. Esto es así debido a la arquitectura de la fachada, ya que si se pusieran las diagonales contrarias estarían al descubierto y eso no se quiere para este caso. No obstante, también servirán para aportar algo más de rigidez y resistencia a la estructura.

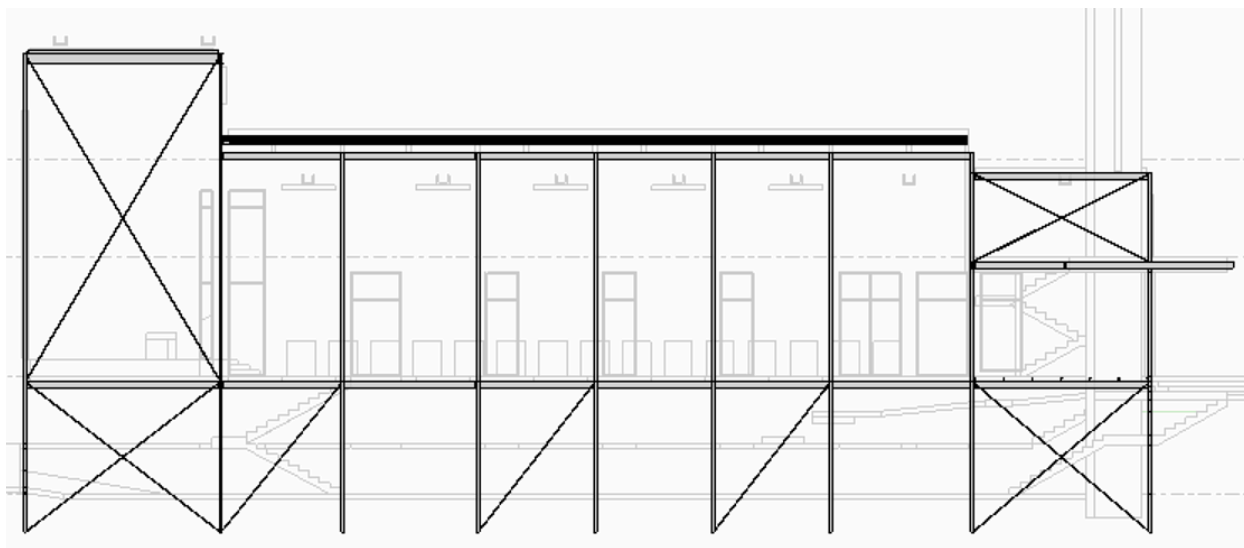


Ilustración 29 – Cruces de San Andrés del lado Norte

2.9.2 Cruces del lado Sur

Para este lado, como se observa en la siguiente imagen, las cruces estarán colocadas simétricamente a las del lado Norte. Cabe destacar que las de la zona de la entrada son algo más pequeñas debido a la propia forma de la estructura.

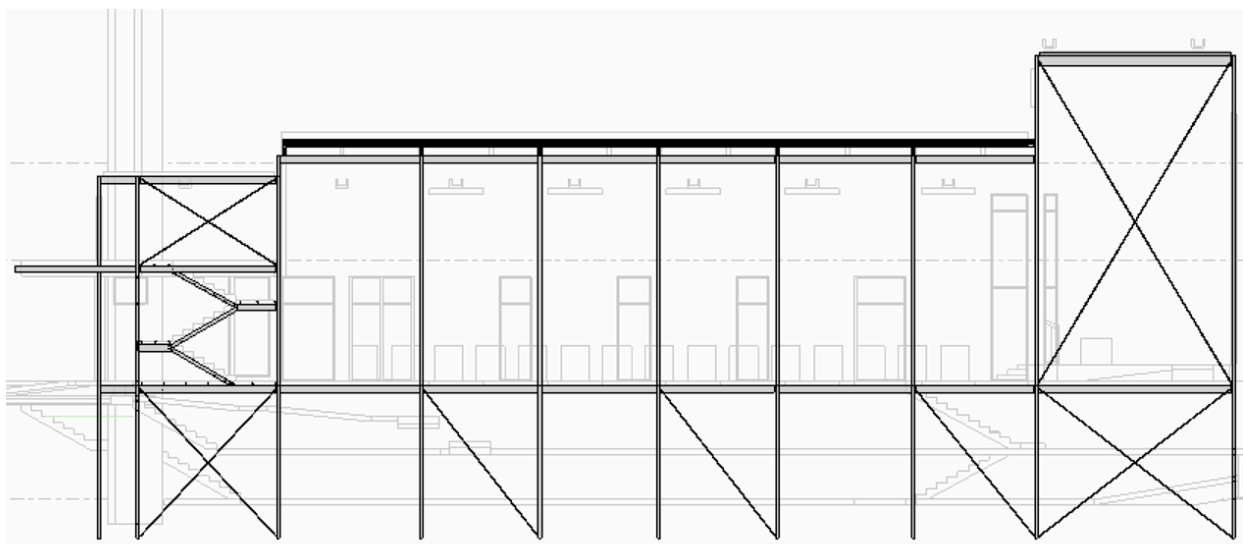


Ilustración 30 – Cruces de San Andrés del lado Sur

2.9.3 Cruces del lado Este

Respecto a la fachada posterior de la estructura, debido a una ventana horizontal en la parte superior y dos verticales en los laterales, se ha modelado una viga que ayudará a que se pueda colocar la cruz central. Esta cruz se ve necesaria debido a que el muro tiene unas dimensiones considerables y a las posibles sollicitaciones laterales que se puedan producir.

A continuación, se aprecia el resultado del modelado de las cruces en este lado, donde aparte de cruz central se han modelado dos más en los laterales de la parte inferior.

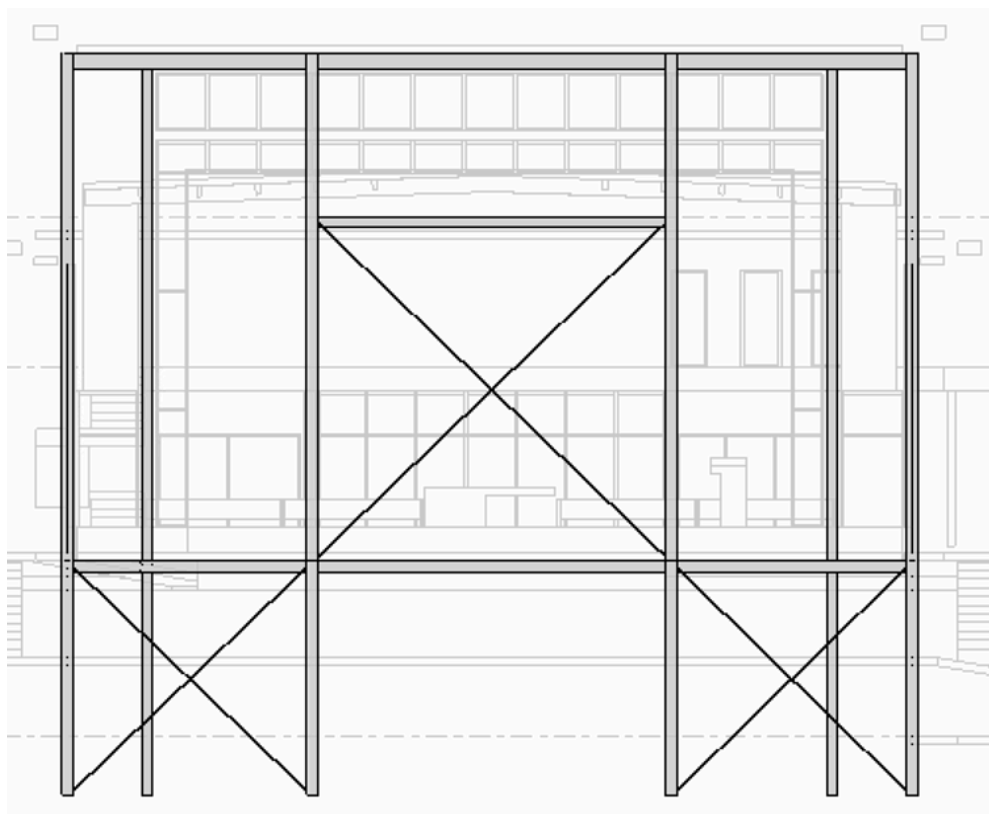


Ilustración 31 – Cruces de San Andrés del lado Este

2.9.4 Cruces del lado Oeste

En la fachada principal, aparte de en dos vanos superiores en los que hay ventanas y en los de la entrada en la planta del medio y su inferior, se han puesto cruces de San Andrés en el resto. Esto es así ya que en esta zona habrá una carga muerta elevada, por lo que se verá necesario que esté bien arriostrada.

Para este lado de la estructura, el resultado obtenido del modelado de las cruces de San Andrés es el de la siguiente imagen:

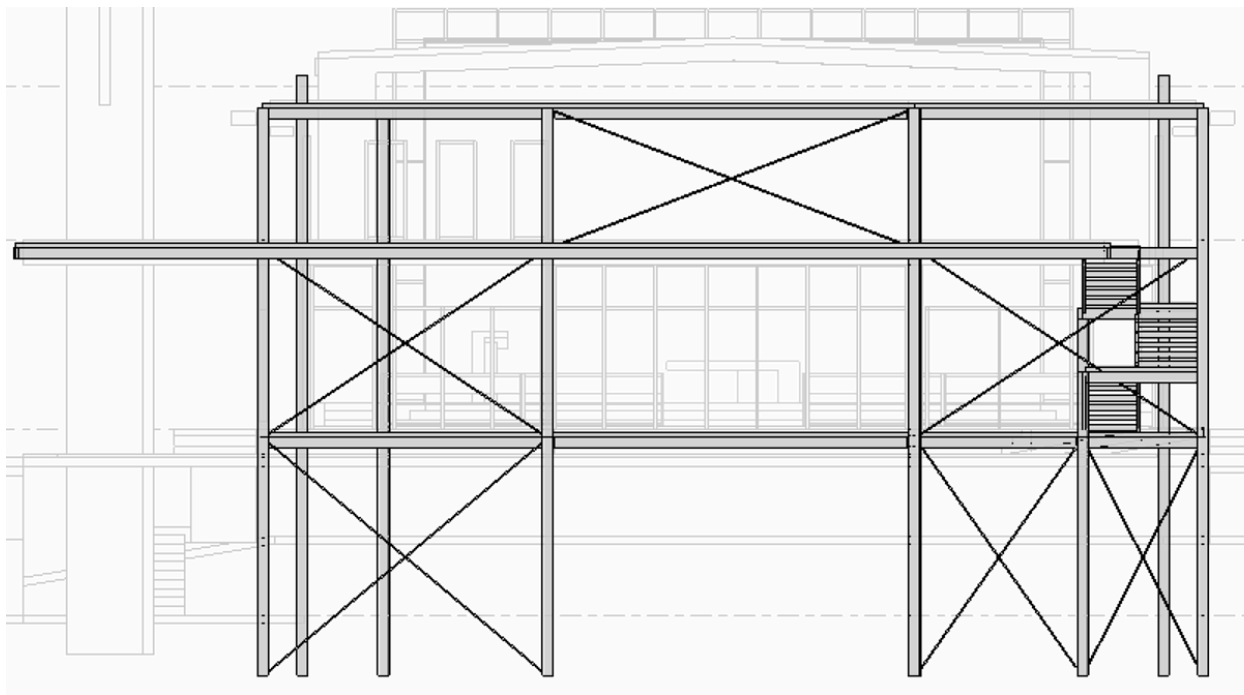


Ilustración 32 – Cruces de San Andrés del lado Oeste

2.10 Cimentación

En la Memoria Descriptiva se habló del tipo de cimentación que se recomendaba realizar según el estudio geotécnico de la zona, debiendo esta de componerse por zapatas y vigas de atado. Además, se comentaba que debían estar a una profundidad mínima de 1,5 m, por lo que si en el modelado el suelo se encuentra en la Planta ES1-Patios, la cual está en la cota -1,75 m, por tanto, la cimentación se deberá modelar a partir de la cota -3,25 m.

Considerando esto, en los siguientes apartados se realiza el modelado y dimensionamiento de estos elementos estructurales por separado.

2.10.1 Zapatas

Las zapatas son un tipo de cimentación estructural y consisten en un prisma de hormigón situado bajo los pilares de la estructura. Estos elementos tienen como función transmitir al terreno las tensiones a las que se ve sometida la estructura y anclarla.

Para el actual proyecto se ha planteado crear una familia de zapatas en la que, mediante su programación dentro de los parámetros de familia, se autodimensione según el área de influencia del pilar, el esfuerzo al que se verá sometido este y, por último, la tensión admisible del terreno, la cual se mencionó al final de la Memoria Descriptiva que era $2,9 \text{ kg/cm}^2$, o lo que es lo mismo, 290 kN/m^2 .

Antes de desarrollar el proceso de modelado, se va a explicar cómo se va a realizar el cálculo aproximado de la superficie que necesitará tener la zapata. Ha de repetirse que es un cálculo aproximado y que las dimensiones resultantes, por tanto, también lo serán. También cabe comentar que tan solo se necesitará el área de este elemento debido a que se exigirá que tenga forma cuadrada, es decir, que sus lados sean iguales, habiendo tan solo que hacer la raíz cuadrada a dicha área para obtener el valor de los lados que tendrá.

El área de la zapata se obtendrá mediante la siguiente aproximación:

$$\text{Área Zapata} = \frac{N_{pilar}}{T_{ADM}}$$

siendo:

- N_{pilar} , el esfuerzo axil que se transmite a través del pilar.
- T_{ADM} , la tensión admisible por el terreno.

De los dos datos que se necesitan se tiene el valor de T_{ADM} , en cambio el del esfuerzo axil no, pero se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$N_{pilar} = Q \cdot A_{Tributaria}$$

donde:

- Q , la carga que superficial de los elementos que soporta el pilar.
- $A_{Tributaria}$, el área de influencia correspondiente de cada pilar.

El dato de la carga se conoce, ya que en la Memoria de Cálculo se ha necesitado las cargas que habrá por planta y zona para hallar las fuerzas sísmicas, y el del área tributaria se puede averiguar mediante la realización de un plano de área tributaria en Revit.

En cuanto al valor del canto de la zapata se va a aproximar a la mitad del vuelo de esta, es decir, la distancia entre el borde del pilar y el de la zapata. Al ser esta pequeña, se exigirá que el canto sea mínimo de 500 mm.

A continuación, se explica el proceso que se ha realizado en Revit para modelar el plano de área tributaria y la zapata autodimensionable por separado:

2.10.1.1 Plano de Área Tributaria

Para realizar este plano va a ser la única vez que se utilice la pestaña “Arquitectura” en este proyecto. Lo primero que ha de hacerse es crear el tipo de plano de área que se quiere crear, para ello se tiene que clicar en la flecha hacia abajo del grupo de acciones “Habitación y área”, donde se desplegarán dos opciones de las que se elegirá la de “Cálculos de área y volumen”. Hecho esto, se deberá abrir una ventana en la que se ha de ir a la pestaña “Esquemas de área”, donde si se pulsa el botón “Nuevo” se crea el tipo de plano que se quiere, en este caso se llama “Área tributaria de los pilares”.

Una vez hecho esto, ya se puede crear el plano. Para ello se tiene que ir a la herramienta “Área”, la cual se encuentra en el grupo de acciones de antes, de la cual también se despliegan dos opciones, siendo una de ellas “Plano de área”. Si se clica en ella aparece una ventana en la que tan solo hay que seleccionar el tipo de plano, es decir, el que se acaba de crear, y el nivel del que se quiere crear, que en este caso será del nivel ES0-Cimentaciones.

Con el plano ya creado, tan solo habrá que crear las áreas con la herramienta “Contorno de área”, la cual también se encuentra en el grupo de acciones de “Habitación y área”, y cuando estén todas delimitadas, a través de la otra opción que aparecía al seleccionar “Área”, la cual se llama igual, se etiqueta cada área con su valor. Se puede precisar cargar alguna familia de etiquetas de áreas si es la primera vez que se realiza.

De esta forma ya se tendría el área tributaria de los pilares, necesitándose tan solo el modelado de la zapata autodimensionable, proceso que se explica en el siguiente apartado.

2.10.1.2 Zapata Autodimensionable

Para crear una familia se debe abrir Revit desde cero, igual que cuando se comenzó el modelado de la estructura, a diferencia de que en este caso se seleccionará una nueva familia y no un nuevo proyecto. Al hacer esto aparece una ventana pidiendo seleccionar un archivo de plantilla, debiéndose elegir el que se llama “Cimentación estructural métrica”.

Una vez realizado estos pasos, se debe haber abierto una nueva ventana de trabajo, la cual estará en blanco. Lo primero que ha de hacerse es crear los planos de referencia que delimitarán la forma de la zapata. Para ello, dentro de la pestaña “Crear”, en el grupo de acciones “Referencia”, se encuentra la opción de “Plano de referencia”, la cual al seleccionarse permite crearlos. En el nivel de referencia se debe crear la superficie de la zapata y del pilar en su centro y luego, en un alzado aparte, la forma del canto de esta.

Después de esto se procede a definir los parámetros a partir de los que se programará el autodimensionamiento. Dicho proceso se realiza dentro de la ventana de “Tipos de familia”, en la cual se encuentra la opción de “Nuevo parámetro” en su parte inferior. Al clicar en este botón aparece la siguiente ventana:

Ilustración 33 – Propiedades de parámetro

Ha de rellenarse estas propiedades para todos los parámetros que se necesiten crear para la zapata, siendo todos ellos de tipo “Ejemplar”. Los parámetros que se deben crear se mencionan a continuación, indicando también la información que le corresponde a cada uno y su finalidad. Hay que mencionar que las dimensiones de la zapata, es decir, grosor, longitud y ancho, vienen definidos por defecto.

- Lpilar: longitud del pilar. Se utiliza para calcular el vuelo de la zapata. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Longitud” y se agrupa en “Cotas”.
- V: vuelo de la zapata. Se utiliza para calcular el grosor de la zapata. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Longitud” y se agrupa en “Cotas”.
- Atrib: área tributaria de los pilares. Se utiliza para calcular el esfuerzo que transmiten los pilares. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Área” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Q: carga superficial que soporta cada pilar. Se utiliza para calcular el esfuerzo que transmiten los pilares. Pertenece a la disciplina “Estructura”, es un tipo de parámetro “Fuerza superficial” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Npilar: esfuerzo que transmiten los pilares a la zapata. Se utiliza para calcular el área de la zapata. Pertenece a la disciplina “Estructura”, es un tipo de parámetro “Fuerza” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Tadm: la tensión admisible por el terreno. Se utiliza para calcular el área de la zapata. Pertenece a la disciplina “Estructura”, es un tipo de parámetro “Área” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Ateor: área teórica de la zapata. Se utiliza para calcular la longitud real del lado de la zapata. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Área” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Lteor: longitud teórica del lado de la zapata. Se utiliza para calcular la longitud real del lado de la zapata. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Longitud” y se agrupa en “Análisis estructural”.
- Lreal: longitud real del lado de la zapata. Se utiliza como valor de los parámetros longitud y ancho de la zapata. Pertenece a la disciplina “Común”, es un tipo de parámetro “Longitud” y se agrupa en “Análisis estructural”.

A continuación, se debe acotar las dimensiones en el plano y, además, etiquetarlas respecto al parámetro del cual hacen referencia. Esto se realiza mediante la opción “Alineada”, la cual se encuentra en el grupo de acciones “Cota” de la pestaña “Anotar”. Acto seguido se selecciona una por una y, en el desplegable que aparece en el grupo de acciones “Etiquetar cota” de la barra de herramientas, se elige el parámetro al que hace referencia cada una. Debiendo quedar de la siguiente forma la superficie de la zapata:

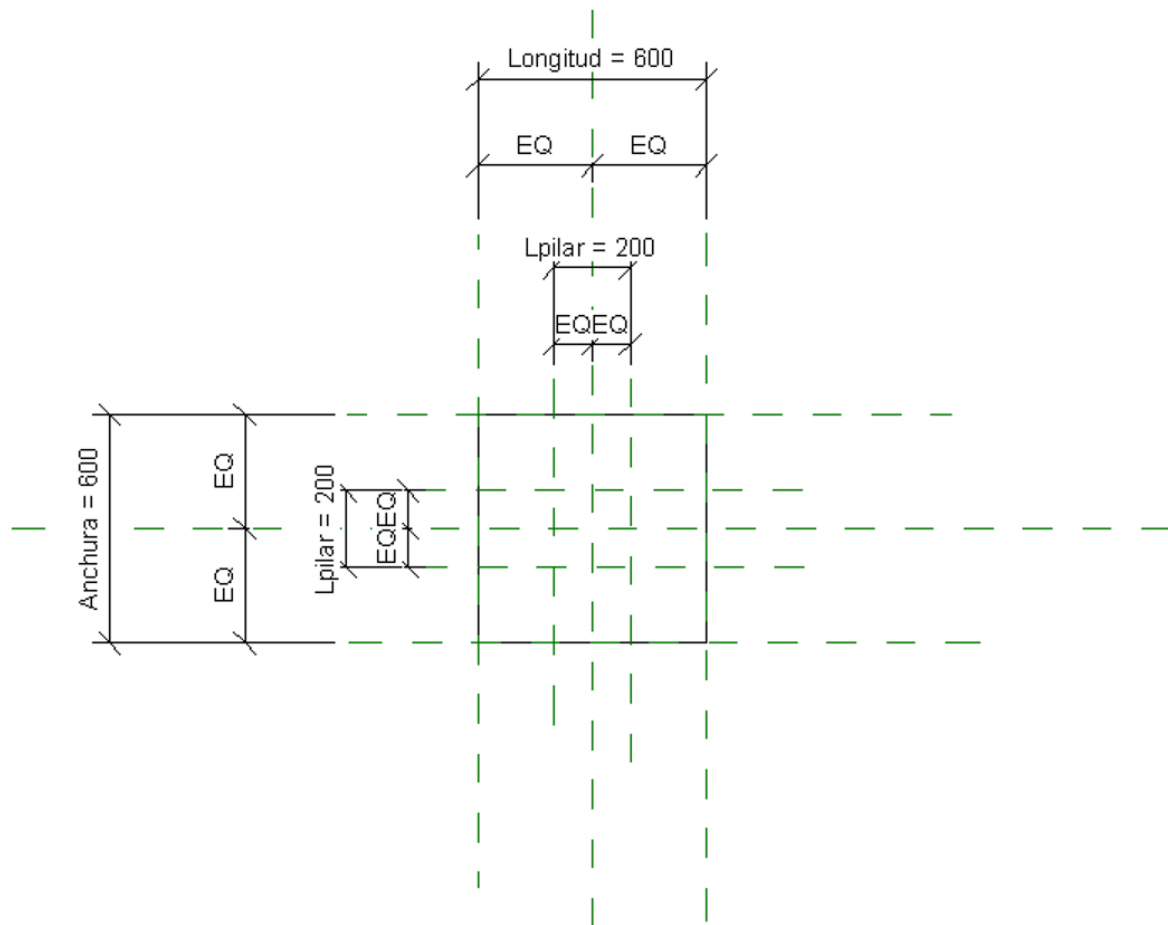


Ilustración 34 – Superficie de la zapata acotada y etiquetada

En cambio, el canto de la zapata queda de la siguiente forma:

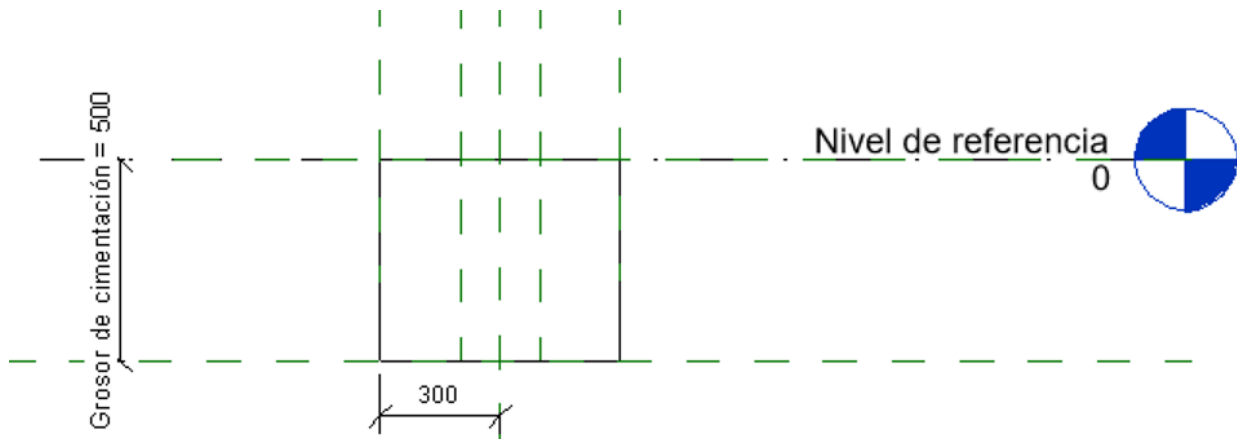


Ilustración 35 – Canto de la zapata acotado y etiquetado

Por último, se abre la ventana de “Tipos de familia” y, en la pestaña que pone “Fórmula”, se programa la función que tendrá cada parámetro, obteniéndose el siguiente resultado:

Tipos de familia

Nombre de tipo: Canto mínimo 500

Parámetros de búsqueda

Parámetro	Valor	Fórmula	Bloquear
Materiales y acabados			
Material estructural	Hormigón, moldeado in situ	=	
Cotas			
Grosor de cimentación (por defecto)	500.0	=if(V / 2 < 500 mm, 500 mm, V / 2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Longitud (por defecto)	600.0	=Lreal	<input checked="" type="checkbox"/>
Anchura (por defecto)	600.0	=Lreal	<input checked="" type="checkbox"/>
Lpilar (por defecto)	200.0	=	<input checked="" type="checkbox"/>
V (por defecto)	200.0	=(Lreal / 2) - (Lpilar / 2)	<input checked="" type="checkbox"/>
Análisis estructural			
Atrib (por defecto)	10.000	=	
Q (por defecto)	8.00 kN/m ²	=	
Npilar (por defecto)	80.00 kN	=Q * Atrib	
Tadm (por defecto)	290.00 kN/m ²	=	
Ateor (por defecto)	0.276	=Npilar / Tadm	
Lteor (por defecto)	525.2	=sqrt(Ateor)	<input checked="" type="checkbox"/>
Lreal (por defecto)	600.0	=roundup(Lteor / 100 mm) * 100 mm	<input checked="" type="checkbox"/>
Datos de identidad			

< >

Gestionar tablas de consulta

[¿Cómo se gestionan los tipos de familia?](#)

Aceptar Cancelar Aplicar

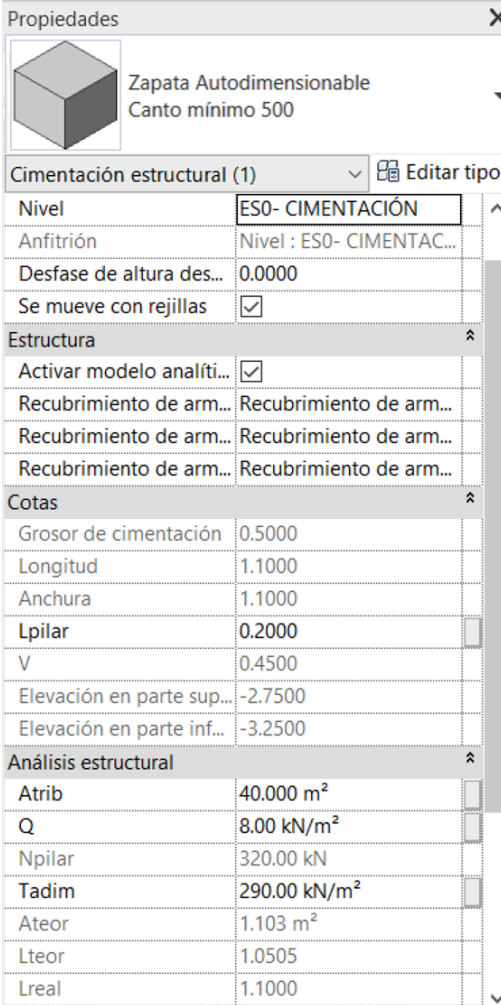
Ilustración 36 – Tipos de familia de la zapata autodimensionable

Cabe destacarse que la diferencia entre el lado teórico y el lado real es que el real está redondeado al siguiente valor de las centenas de millar a partir del teórico, es decir, que el valor de los lados de la zapata será siempre múltiplo de 100 mm.


Habiéndose creado ya la familia de la zapata, se guarda el archivo y carga en el proyecto. Para ello hay una opción de “Cargar en proyecto” en la barra de herramientas de la pestaña “Archivo”.


Respecto al modelado de este elemento estructural en el modelo se podrá hacer de tres formas: mediante rejillas, en pilares y manualmente. Todas las opciones son buenas pero la más rápida será la que los sitúa en pilares. El proceso se realiza situándose en el nivel ES0-Cimentaciones y a partir de la herramienta “Aislada” que se encuentra en el grupo de acciones “Cimentación” de la pestaña “Estructura”. Al seleccionarla aparece en la barra herramientas las dos opciones de en rejillas y en pilares, que si clicas esta última tan solo hay que seleccionar los pilares uno a uno y se modelan automáticamente.

Una vez se ha generado las zapatas en todos los pilares, tan solo hay que ir una a una rellenando los valores necesarios de los parámetros dentro de la tabla de propiedades, la cual tendrá el siguiente aspecto:



Propiedades

 Zapata Autodimensionable
Canto mínimo 500

Cimentación estructural (1)  Editar tipo

Nivel **ES0- CIMENTACIÓN**

Anfitrión Nivel : ES0- CIMENTAC...

Desfase de altura des... 0.0000

Se mueve con rejillas ☒

Estructura

Activar modelo analíti... ☒

Recubrimiento de arm... Recubrimiento de arm...

Recubrimiento de arm... Recubrimiento de arm...

Recubrimiento de arm... Recubrimiento de arm...

Cotas

Grosor de cimentación 0.5000

Longitud 1.1000

Anchura 1.1000

Lpilar 0.2000

V 0.4500

Elevación en parte sup... -2.7500

Elevación en parte inf... -3.2500

Análisis estructural

Atrib 40.000 m²

Q 8.00 kN/m²

Npilar 320.00 kN

Tadim 290.00 kN/m²

Ateor 1.103 m²

Lteor 1.0505

Lreal 1.1000

Ilustración 37 – Propiedades de las zapatas

De todas las propiedades tan solo hay que indicar el área tributaria, la carga superficial y el ancho de cada pilar. La tensión admisible del terreno en este caso viene predefinida al haberse creado la zapata con ese valor, pero para futuros usos habrá que indicarlo también si cambia.

Estos valores habrá que modificarlos en caso de posibles cambios que se tengan que hacer según lo que indiquen los resultados del análisis de la estructura.

Finalmente, el resultado de la creación y modelado de la zapata autodimensionable, una vez que se han definido los parámetros en las propiedades cada una de ellas, es el que se observa a continuación:

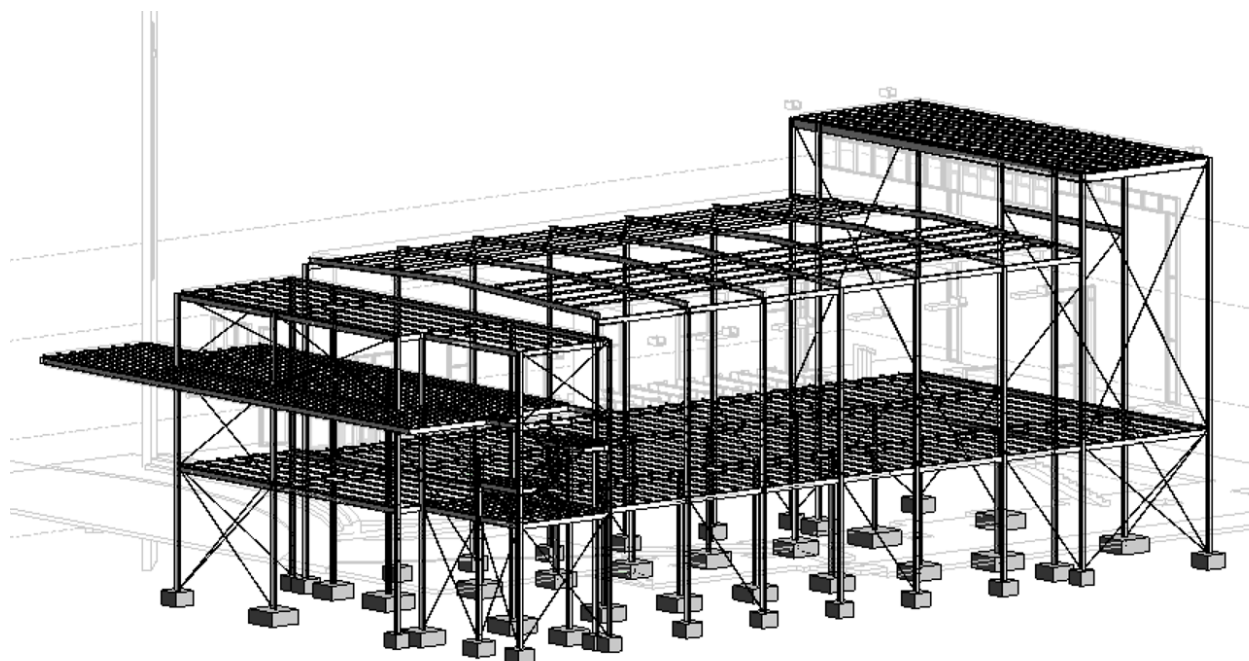


Ilustración 38 – Estructura con las zapatas modeladas

2.10.2 Vigas de atado

Las vigas de atado o riostras son elementos estructurales hechos de hormigón, los cuales unen dos o más cimientos y son capaces de resistir tracciones. Estos elementos tienen como función absorber las posibles acciones horizontales que puedan recibir los cimientos, sean estas provenientes del terreno o de la propia estructura, evitando así el desplazamiento relativo de uno respecto a otro.

Para este proyecto se ha decidido que se van a utilizar vigas de sección cuadrada hechas de hormigón cuyo lado tendrá una longitud igual que el grosor del canto de las zapatas, es decir, 500 mm.

El modelado de las vigas de atado se realiza exactamente igual que el del armazón estructural, obteniéndose finalmente, la estructura con todos sus elementos estructurales ya modelados, tal y como se observa a continuación:

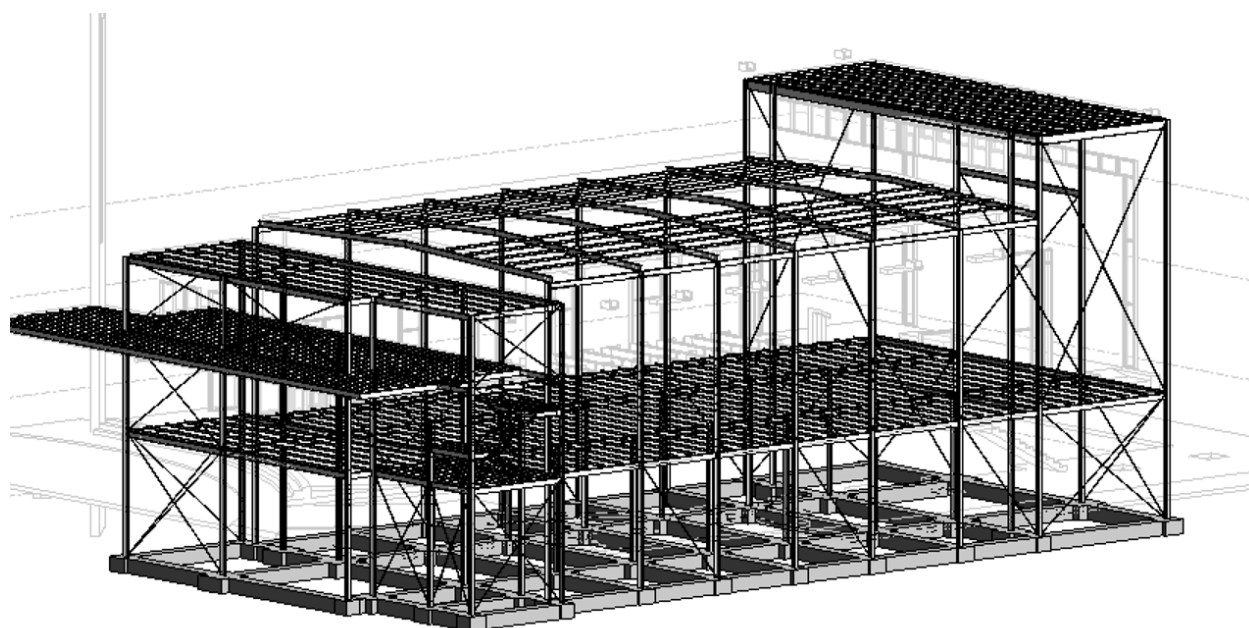


Ilustración 39 – Estructura con las vigas de atado modeladas

2.11 Apoyos

Dado que ya se tiene definida y modelada la cimentación que habrá en la construcción, es importante hablar de los apoyos que va a tener esta. Para empezar un apoyo se define como un sistema que restringe el movimiento en una o más direcciones, generando así esfuerzos en los elementos que los componen y una reacción debido a estos. Dichos sistemas se ubican en uniones entre elementos estructurales o en uniones entre elementos estructurales y el terreno, existiendo los siguientes tipos:

- Empotramiento. Es un apoyo que tiene tanto los movimientos de desplazamiento como los giros en el nudo de unión restringidos.
- Apoyo fijo o articulado. Este permite el giro libre pero los desplazamientos están restringidos.
- Apoyo con deslizamiento en un eje. También se le llama de rodillos o de carrito y permite el desplazamiento en el eje global que se indique, pero los giros quedan restringidos.
- Apoyo articulado-deslizante. Este tipo permite el giro libre y el desplazamiento en el eje global que se indique.
- Apoyo elástico o semirrígido. En estos apoyos se produce una restricción parcial del movimiento, generándose una reacción cuyo valor depende del nivel de rigidez que tenga el apoyo. Un ejemplo claro de este tipo de apoyo es el de un muelle.
- Apoyo nulo. Por último, está el nudo libre que significa que no existe ningún tipo de restricción, por lo que tampoco hay unión ni reacciones.

Antes de definir los apoyos que tendrán los pilares de la estructura, se ha de hablar de algo que se comentó brevemente en uno de los apartados anteriores de este capítulo: el modelo analítico. La propia página de Autodesk lo define como “una representación 3D simplificada de la descripción de ingeniería completa de un modelo físico estructural”. Este se compone por los modelos analíticos de los propios elementos estructurales que componen a la estructura, es decir, pilares, vigas, cimentaciones o suelos, entre otros, y tienen asociados las componentes, propiedades de los materiales y geometrías de dichos elementos.

Este modelo se crea automáticamente en Revit, de hecho, en la ventana del navegador de proyectos viene creada una vista de dicho modelo, y es en él donde se realizará la aplicación de las cargas en el siguiente apartado. Se puede definir también como una representación que incluye lo esencial de la estructura para su estudio, teniendo que dejarse muy bien definido una vez se ha modelado todo puesto que es la parte que se exporta a aplicaciones de análisis y diseño, que en el caso del proyecto actual es Robot.

A continuación, se observa la parte analítica de los elementos modelados actualmente, encontrándose estos en la vista que Revit crea para el propio modelo analítico:

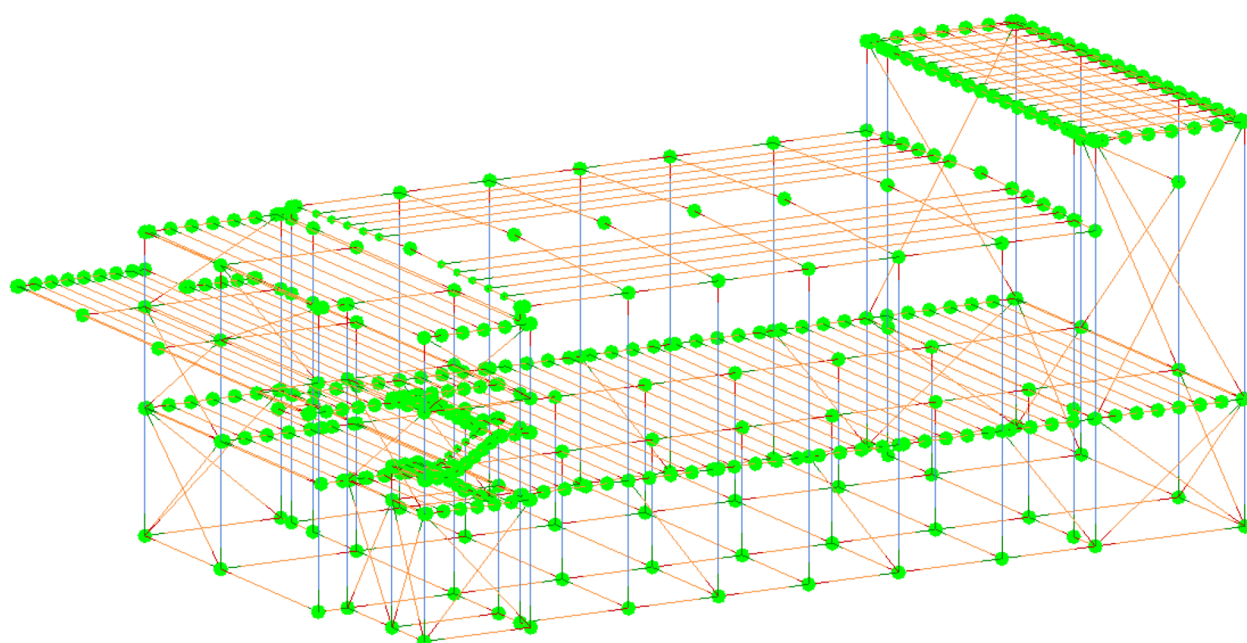


Ilustración 40 – Vista 3D Modelo analítico

La vista del modelo analítico se ha configurado de tal forma que se vean los nudos que están bien definidos y conectados en verde y en rojo los que no lo están, no habiendo ninguno de estos últimos.

Se ha definido el modelo analítico antes de indicar los apoyos en la estructura debido a que es en éste donde se han de aplicar las condiciones de contorno. Para ello, hallándose en la vista de “3D Modelo analítico”, se ha de ir a la pestaña de “Analizar”, en la que, dentro del grupo de acciones “Modelo analítico” a la izquierda de la barra de herramientas, se encuentra el botón “Condiciones de contorno”. Al clicar en él aparece a la derecha de la barra de herramientas tres opciones: Punto, Línea y Área, siendo estas tres formas de aplicar los apoyos en los elementos. En el caso de los pilares de la estructura se hará mediante la opción “Punto”, habiendo tan solo que seleccionar la base de todos los pilares individualmente. Se obtiene, por tanto, lo que se aprecia en la siguiente imagen:

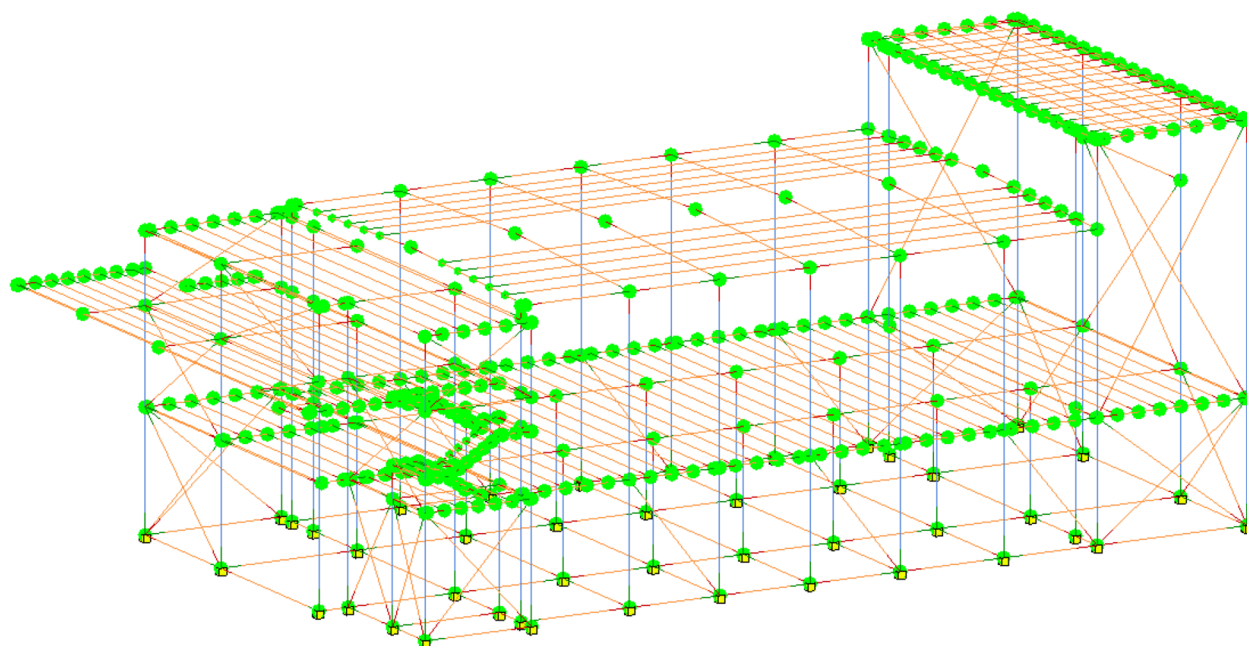


Ilustración 41 – Vista 3D Modelo analítico con apoyos

Se observa que, a diferencia con la imagen anterior, en la base de los pilares de esta se encuentran una especie de cubos amarillos, los cuales son las condiciones de contorno que se acaban de modelar. Si se selecciona uno de ellos, la ventana de propiedades aparece de la siguiente forma:

Propiedades	
Condiciones de contorno (1) Editar tipo	
Análisis estructural	
Orientar a	Proyecto
Tipo de condiciones de ...	Punto
Estado	Fijo
Traslación en	
Translación X	Fijo
Translación Y	Fijo
Translación Z	Fijo
Rotación respecto a	
Rotación X	Fijo
Rotación Y	Fijo
Rotación Z	Fijo

Ilustración 42 – Propiedades de los apoyos

Como se puede observar, todas las traslaciones y rotaciones, es decir, desplazamientos y giros, están fijas, lo que significa que se han aplicado empotramientos en todas las bases de los pilares, lo cual es lo que se buscaba.

2.12 Introducción de cargas en Revit

Para la finalización del capítulo y, por tanto, del modelado en Revit se procede a aplicarle a la estructura las cargas a las que se encuentra sometida, acciones las cuales han sido calculadas en la Memoria de Cálculo Estructural en base al Documento Básico de Seguridad Estructural.

Como se comentaba anteriormente, estas cargas se van a adjudicar al modelo analítico de los elementos estructurales que las soportan. Para ello se ha de ir a la pestaña “Analizar” nuevamente, en la que se encuentra la herramienta “Cargas”, la cual está justo al lado de la que se usó para aplicar los apoyos en el apartado anterior. Al clicarla aparecen a la derecha de la barra de herramientas seis formas diferentes de colocar las cargas, las cuales están divididas en dos grupos de tres: las libres, compuestas por carga puntual, carga lineal y carga superficial; y las hospedadas, compuestas por las mismas tres. La diferencia entre los dos grupos es que en el segundo las cargas se encuentran ligadas al elemento al que se las aplica.

Antes de colocar las cargas se han de definir los casos simples de carga que habrá y asociarlos a su respectiva naturaleza. Los casos simples de carga son los distintos conjuntos de acciones que se han definido en la Memoria de Cálculo Estructural, por ejemplo, las cargas producidas en un lateral por la acción del viento proveniente del Norte. En cuanto a la naturaleza de los casos de cargas, se refiere al tipo de acción de cada conjunto, por ejemplo, para el peso propio se asocia la naturaleza “Muerta”. Todo esto ha de indicarse para realizar posteriormente la combinación de casos de cargas, en la que se realizarán combinaciones de estos multiplicando cada uno por los coeficientes de seguridad simultánea que le corresponda según dicta el Documento Básico. Esto último se hace debido a que no todas las cargas actúan simultáneamente, por ejemplo, no tiene sentido que actúen al mismo tiempo la carga de nieve y la de sobrecarga de uso en cubiertas.

Este proceso se realizará en Robot, pero habrá que dejar bien definidos los casos simples de carga y su naturaleza para que a la hora de exportar el modelo no genere errores.

A continuación, se nombran los distintos casos simples de cargas que se han definido Revit, mencionando a su vez la categoría a la que pertenecen y su naturaleza:

- PP. Perteneciente a la categoría “Peso propio” y es de naturaleza “Muerta”.
- SC Interior. Perteneciente a la categoría “Sobrecarga de uso” y es de naturaleza “Viva”.
- SC Puntual Interior. Perteneciente a la categoría “Sobrecarga de uso” y es de naturaleza “Viva”.
- SC Cubierta. Perteneciente a la categoría “Sobrecarga de uso en cubierta” y es de naturaleza “Viva”.
- SC Puntual Exterior. Perteneciente a la categoría “Sobrecarga de uso en cubierta” y es de naturaleza “Viva”.
- Nieve. Perteneciente a la categoría “Cargas de nieve” y es de naturaleza “Nieve”.
- Viento Lateral Norte. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Norte Cubierta A. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Norte Cubierta B. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Lateral Sur. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Sur Cubierta A. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Sur Cubierta B. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Sur Este. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Este Cubierta A. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Este Cubierta B. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Lateral Oeste. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Oeste Cubierta A. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Viento Oeste Cubierta B. Perteneciente a la categoría “Cargas de viento” y es de naturaleza “Viento”.
- Sísmica Norte. Perteneciente a la categoría “Cargas sísmicas” y es de naturaleza “Sísmica”.
- Sísmica Sur. Perteneciente a la categoría “Cargas sísmicas” y es de naturaleza “Sísmica”.
- Sísmica Este. Perteneciente a la categoría “Cargas sísmicas” y es de naturaleza “Sísmica”.
- Sísmica Oeste. Perteneciente a la categoría “Cargas sísmicas” y es de naturaleza “Sísmica”.

En total se han creado 22 casos simples de carga, los cuales generarán tantas combinaciones como indique el Documento Básico.

Una vez se tienen bien definidos los casos de carga ya se pueden aplicar las cargas, indicando siempre a qué caso pertenecen. En este proyecto no se van a utilizar las opciones de cargas superficiales, ya que los suelos y muros se van a aplicar como cargas lineales en los forjados, vigas y pilares. Por lo tanto, se usará la opción de “Carga puntual” para colocar las sísmicas y la de “Carga lineal” para el resto.

A la hora de aplicar las cargas se tendrá que definir los parámetros respectivos a cada una en su respectivo cuadro de propiedades, el cual tiene el siguiente aspecto:

Propiedades	
Cargas lineales Carga lineal 1	
Cargas lineales (1)	Editar tipo
Análisis estructural	
Caso de carga	PP (1)
Naturaleza	Muerta
Orientar a	Proyecto
Carga uniforme	<input checked="" type="checkbox"/>
Carga proyectada	<input type="checkbox"/>
Fuerzas	
Fx 1	0.00 kN/m
Fy 1	0.00 kN/m
Fz 1	-2.61 kN/m
Momentos	
Mx 1	0.00 kN-m/m
My 1	0.00 kN-m/m
Mz 1	0.00 kN-m/m

Ilustración 43 – Propiedades de carga

Como se puede observar en este, se ha de indicar el caso de carga al que corresponde, apareciendo debajo la naturaleza al cual está asociado y, además, el valor de la fuerza o momento en la dirección y sentido que corresponda.

Al tenerse tantas cargas, para una mayor comodidad a la hora de trabajar, se han creado diferentes vistas en las que se han aplicado los distintos casos de carga por separado. En algunos casos de carga en los que hay muchas de ellas, como es para las de la categoría de “Peso propio”, incluso se han creado diferentes vistas divididas por zona de aplicación.

Finalmente, se realiza el modelado de las acciones, en el que las cargas puntuales se aplican a los nudos que se han definido en el apartado de Reparto de Fuerzas Sísmicas de la Memoria de Cálculo Estructural, mientras que las cargas lineales se colocan en los forjados, vigas y pilares, de la forma en la que se han distribuido según las áreas de influencia definidas en la misma Memoria que el reparto de las sísmicas.

Un ejemplo de una de las vistas donde se han aplicado las cargas lineales es el que se observa en la imagen que hay a continuación, siendo concretamente la vista “Viento Norte A”, en el que se encuentran modelados los casos de carga “Viento Lateral Norte” y “Viento Norte Cubierta A”:

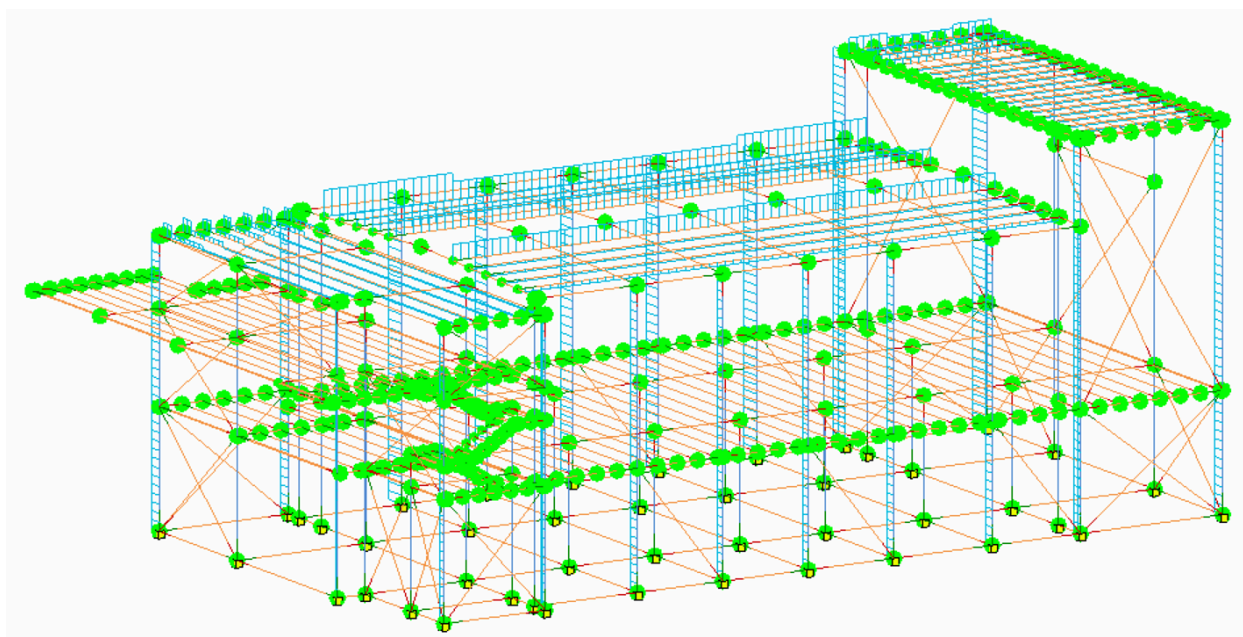


Ilustración 44 – Vista analítica Viento Norte A

Y un ejemplo de una vista donde se han aplicado cargas puntuales es el de la siguiente imagen, siendo concretamente la vista “Sísmica Este”, en la que se encuentran modelados el caso de carga “Sísmica Este”:

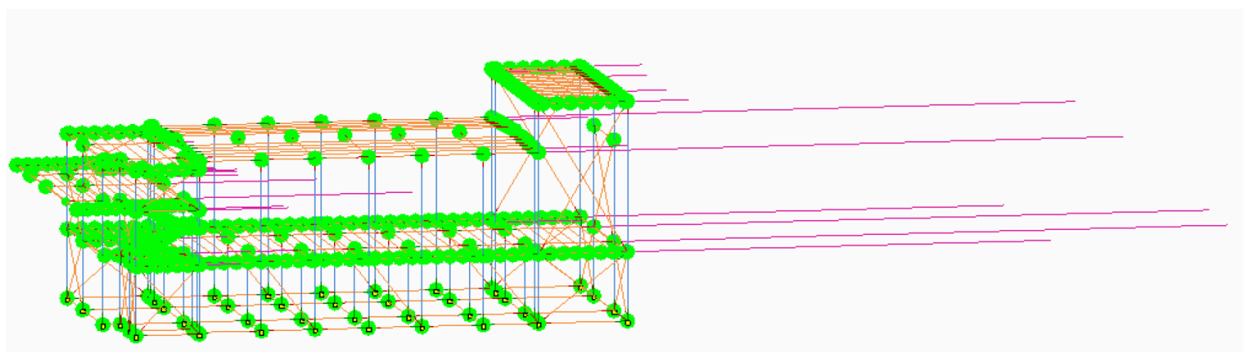


Ilustración 45 – Vista analítica Sísmica Este

Con esto se finaliza el modelado en Revit, pudiendo así exportarlo a Robot para su análisis estructural, lo cual se detalla en el siguiente capítulo de la actual Memoria.

3 ANÁLISIS DEL MODELO EN ROBOT

En el presente capítulo se cuenta el trabajo que se ha realizado durante el proceso del análisis de la estructura, así como el de los resultados obtenidos de él. Este proceso se lleva a cabo mediante el software Robot, del cual se hace previamente una breve introducción acerca de su funcionamiento e integración con Revit.

3.1 Introducción a Robot Structural

Autodesk Robot Structural Analysis Professional, llamado Robot para acortar, se define según la propia página de Autodesk como un software de análisis de carga estructural que verifica el cumplimiento de los códigos que se indiquen. Éste utiliza flujos de trabajo integrados en BIM para intercambiar datos con Revit, facilitando así la creación de diseños más resilientes y construibles. Trabajar con esta aplicación permite asegurar que los proyectos sean más precisos, coordinados y siempre conectados a la metodología BIM.

De las características que se pueden destacar del análisis estructural en Robot se encuentra la gran variedad de tipos de análisis estructural, entre los que se puede probar comportamientos como el estático, el modal y hasta el no lineal. Otra cualidad de este software es la capacidad de generar de forma rápida y sencilla una malla de elementos finitos de alta calidad, consiguiendo así análisis más precisos.

A todo esto, se le une que posee una enorme base de datos de materiales y secciones de todo el mundo, trabajando con los códigos de construcción de cada país, entre los que se incluyen numerosas normas de acero y hormigón.

La versión con la que se ha trabajado en el presente proyecto es la de Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2019.

3.2 Exportación de Revit a Robot

Como ya se ha comentado, Robot presenta una fuerte integración con varios programas BIM, entre los que se destaca Revit para el actual proyecto. Ese vínculo de integración entre los dos softwares permite una relación bidireccional de intercambio de datos entre ambos, consiguiéndose trabajar en paralelo a través de una lectura en tiempo real.

Mediante esta herramienta se puede realizar una transferencia del modelo de la estructura de Revit a Robot y viceversa, permitiéndose así que, una vez se haya trabajado en uno de ellos, se vuelva a cargar en el programa de origen actualizándose el modelo. No tiene por qué transferirse el modelo completo, esta integración posibilita el que se trabaje en una parte del modelo que se haya seleccionado, pudiéndose transferir incluso a otros programas.

Robot también presenta la capacidad de transferir los resultados de los distintos análisis que se hayan realizado y de los esfuerzos obtenidos al modelo de Revit, haciendo el archivo aún más completo. Esto hace referencia a lo que se ha mencionado en apartados anteriores de que en la metodología BIM el archivo en el que se trabaja se convierte en una base de datos del proyecto, siendo para este caso el de Revit.

Todo esto permite que, generándose un modelo de una estructura en base al juicio de un ingeniero estructural, posteriormente mediante el vínculo que genera esta herramienta, se produzca una bidireccionalidad de los datos entre ambos softwares que lleve a conseguir un nivel de precisión que con los métodos tradicionales de papel y lápiz no se lograba.

A continuación, se explica el proceso que se ha realizado en la exportación del modelo de Revit a Robot, abriéndose paso antes a través del siguiente ejemplo de la bidireccionalidad que existe entre ambos programas:

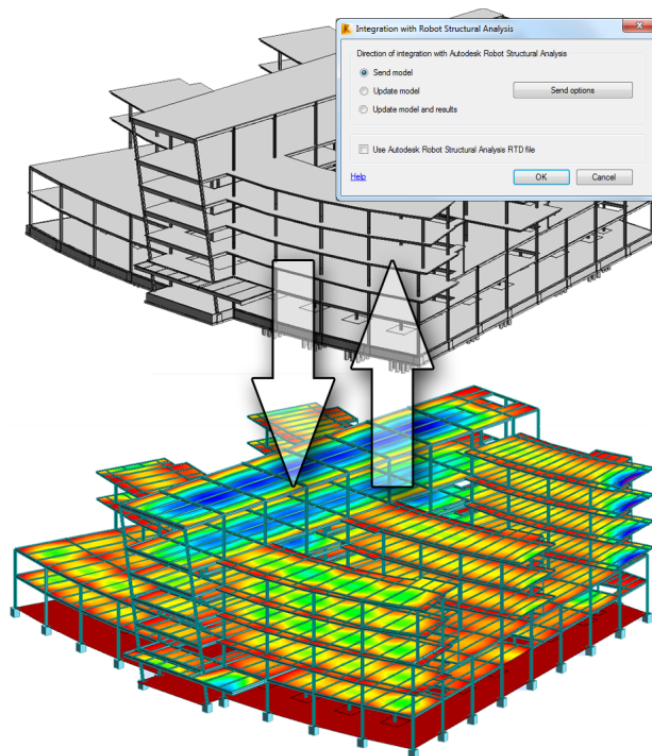


Ilustración 46 – Ejemplo de bidireccionalidad entre Revit y Robot

Para comenzar con la exportación se debe tener el archivo de Revit abierto en la pestaña de “Análisis”, en la que a la derecha de la barra de herramientas aparecerá un icono con el símbolo de Robot llamado “Robot Structural Analysis”. Para ello habrá que haberse descargado este software previamente. Al clicarlo aparece un desplegable con dos opciones, de entre las que se debe seleccionar la de “Robot Structural Analysis Link”. Una vez hecho esto, aparece una ventana como la que se tiene en la imagen del ejemplo anterior y que se aprecia más con más claridad a continuación:

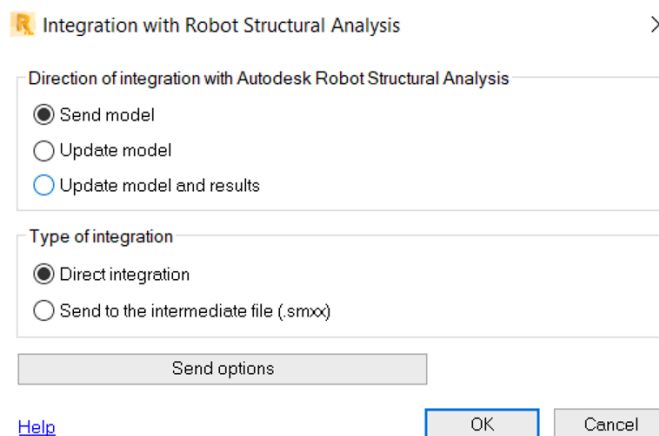


Ilustración 47 – Ventana de integración con Robot

En esta ventana hay que realizar dos elecciones: una para la dirección de la integración con Robot y otra para el tipo de integración. Para la dirección de integración se ofrecen tres opciones en el siguiente orden:

- Enviar modelo, la cual permite enviar el modelo de Revit a Robot.
- Actualizar el modelo. Opción que permite actualizar el modelo de Revit una vez se han realizado cambios en el de Robot.
- Actualizar el modelo y los resultados. En este caso se permite actualizar el modelo y los resultados, también una vez se hayan realizado cambios en Robot previamente.

Para los dos últimos casos tendría que haberse hecho antes una exportación del modelo de Revit a Robot, por lo que se ha elegido la primera. Las otras dos se utilizarán más adelante. Respecto al tipo de integración que se quiere realizar se encuentran las dos siguientes opciones:

- Integración directa, la cual realiza cualquiera de las tres opciones directamente.
- Enviar el archivo intermedio (.smxx). Esta alternativa permite realizar las tres opciones de dirección de integración a través de un archivo intermedio, el cual se podrá intercambiar también con otros programas.

En este proyecto se ha trabajado siempre con el tipo de integración directa, por lo que se elige la primera opción.

Antes de darle a “OK” y exportar el modelo de Revit, faltaría especificar el caso de carga que contiene las cargas de peso propio de la estructura. Para ello tan solo hay que clicar donde dice “Send options” y seleccionar el caso de carga “PP” en el desplegable que aparece para ello, siendo éste el nombre que se eligió para el caso de carga del peso permanente.

3.3 Primera lectura en Robot

Habiendo realizado ya los pasos del apartado anterior, se genera la primera lectura por parte de Robot del modelo de Revit. Después de esto, aparece en la interfaz de Revit la siguiente ventana con una lista de advertencias que se han detectado en dicha lectura:



Ilustración 48 – Ventana de lista de advertencias en Revit

A pesar de que se haya hecho especial hincapié en que no hubiera errores previos a la exportación, finalmente la lectura señala un error: Robot no reconoce los elementos que se han utilizado para las cruces de San Andrés. Lo que sí reconoce es que es un elemento barra, pero no cuál es su sección.

Si se cierra la ventana con la lista de advertencias, se abre inmediatamente la de Robot con el modelo exportado, el cual tiene la siguiente apariencia:

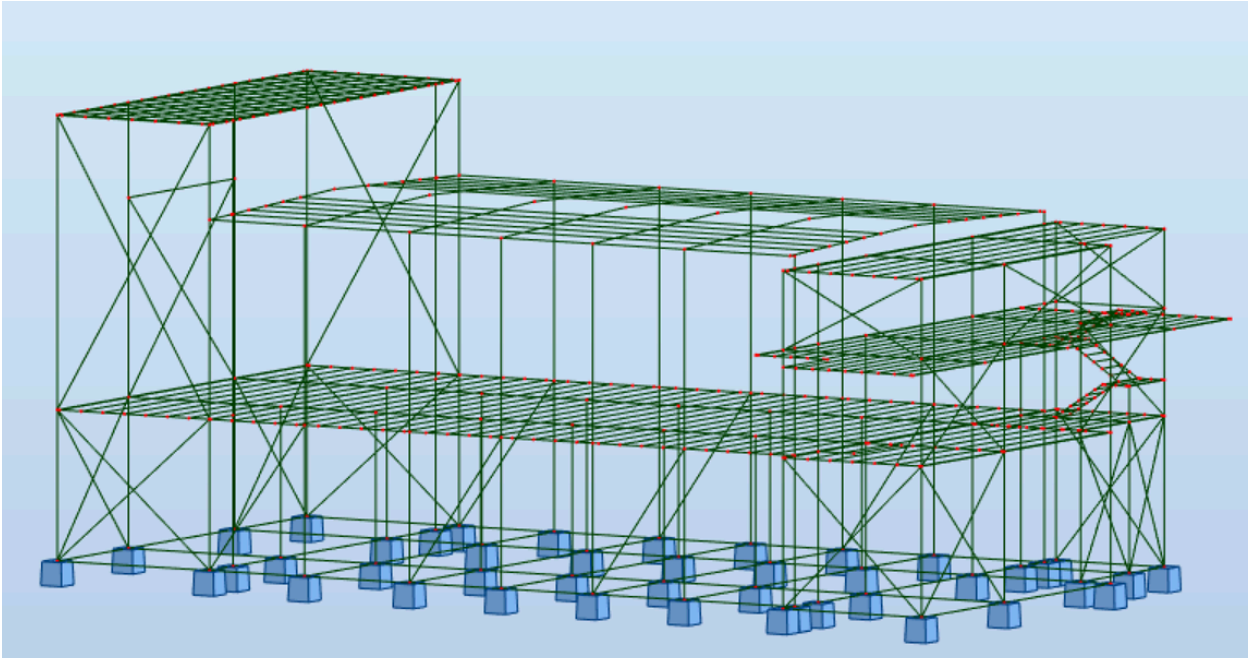


Ilustración 49 – Modelo de la estructura en Robot tras la lectura

Se puede observar que tiene los mismos elementos que en Revit, incluyendo los apoyos. En cambio, si se selecciona la opción “Forma de secciones” en la barra de herramientas de visualización que hay en la parte inferior de la pantalla de trabajo, se obtiene lo siguiente:

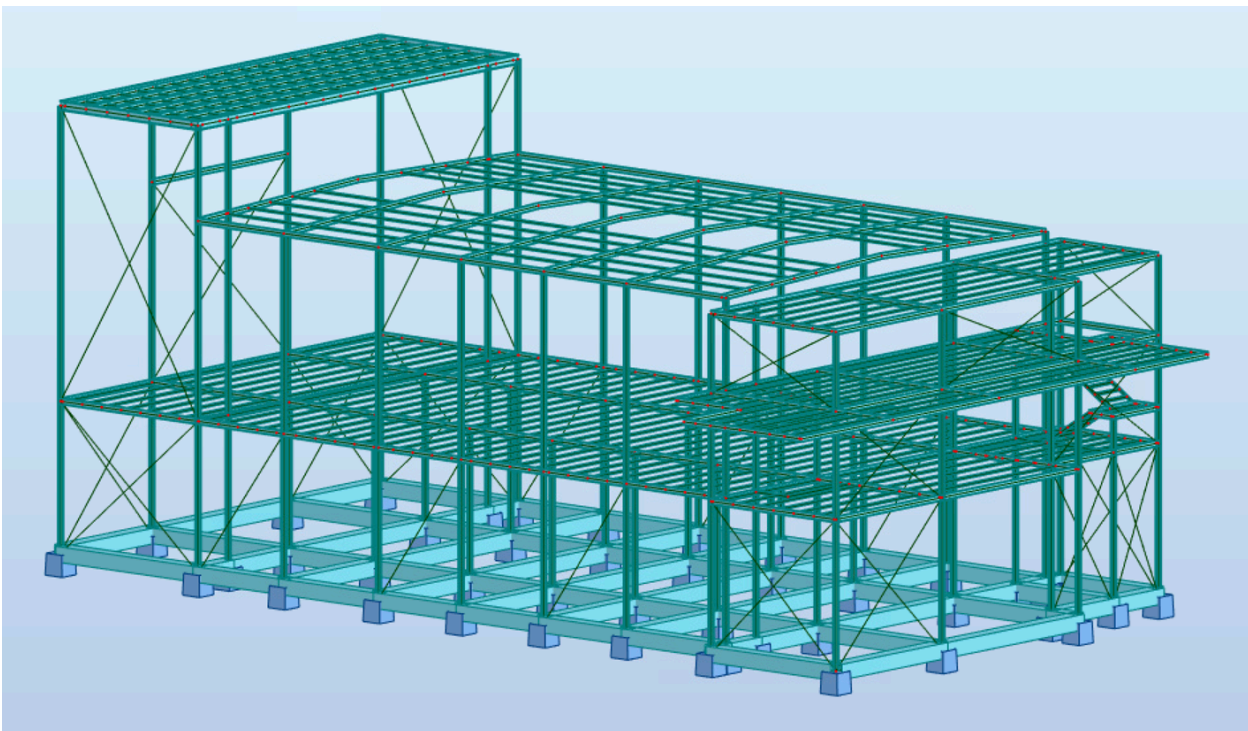


Ilustración 50 – Modelo de la estructura en Robot con las secciones vistas

Se observa que la todas de las barras tienen su sección excepto las cruces de San Andrés, las cuales se avisó en la ventana de advertencia que no lo tenían. Se procede por lo tanto a asignarle una sección de las del catálogo de Robot y que sea igual a la que se seleccionó para estos elementos en Revit. Para ello, se ha de ir al desplegable “Propiedades”, que se encuentra en la pestaña “Estructura”, y en él seleccionar la opción “Sección”, abriéndose entonces la siguiente ventana:

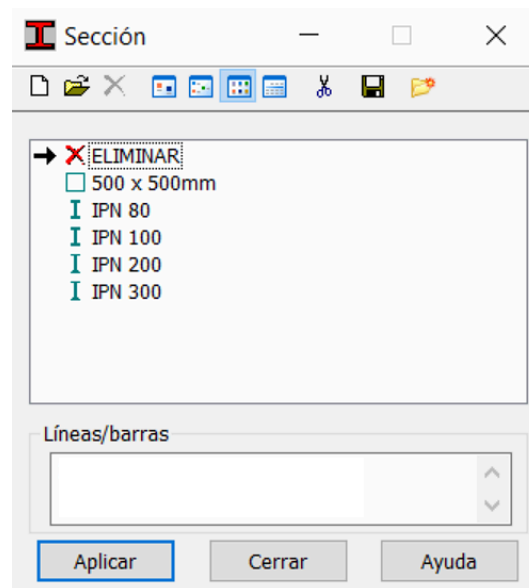


Ilustración 51 – Ventana de secciones

En ella se pueden ver las secciones que se utilizan en el modelo, sin embargo, las de las cruces no están. Si se va a la segunda herramienta por la izquierda de esta ventana, la cual se llama “Selección de perfiles en el catálogo”, se abre la ventana de a continuación:

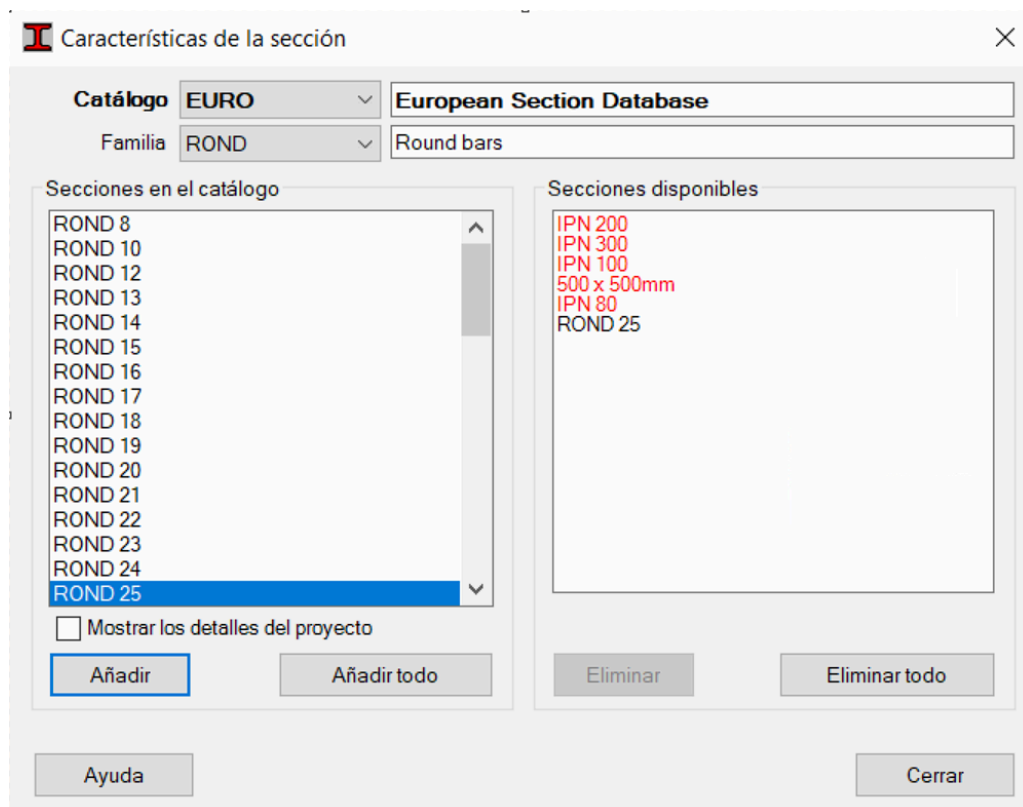


Ilustración 52 – Ventana de selección de perfiles en el catálogo

En ella se busca el perfil “ROND 25”, el cual se ha visto que tiene las mismas características que la barra que se eligió en Revit para estos elementos. Dichas características se observan al clicar en la opción “Mostrar los detalles del proyecto” al seleccionar el perfil en la ventana anterior.

Al darle a añadir se incluye el perfil a la lista de la derecha de secciones disponibles y, por tanto, también a la lista de la ventana de secciones. Sin cerrar esta última que se comenta, se abre la opción de “Seleccionar barras”, la cual se encuentra en la barra de herramientas de la parte superior izquierda, apareciendo la siguiente ventana:



Ilustración 53 – Ventana de selección de barras

Como se observan, aparte de aparecer el nuevo perfil, el cual no se encuentra todavía asociado a ninguna barra, también se distingue una opción que dice “No definida”. Esta opción se refiere a las cruces de San Andrés, por lo que se seleccionan dándole al botón de las dos flechas negras hacia arriba.

Ahora, volviendo a la ventana de secciones, deberá aparecer en el recuadro de abajo el mismo código que aparece en esta última ventana, el cual identifica las barras que se han seleccionado, estando estas además resaltadas de color azul en la pantalla de trabajo. Lo que quedaría por hacer sería seleccionar el perfil ROND 25 en la ventana de secciones y pulsar en “Aplicar”, haciendo que cambie el perfil de las barras que estaban seleccionadas.

Podrá aparecer un aviso preguntando si se quiere que se cambie el material de las barras, al cual habrá que darle que sí. Debe entonces aparecer en la parte inferior del inspector de objetos, el cual se encuentra en la parte izquierda de la pantalla, la opción de S 275 en el parámetro “Material” de las barras, las cuales aun siguen seleccionadas. En caso de que no sea así se seleccionaría y se indicaría que fuera ese tipo de acero, quedando entonces el siguiente aspecto de las propiedades de las barras seleccionadas:

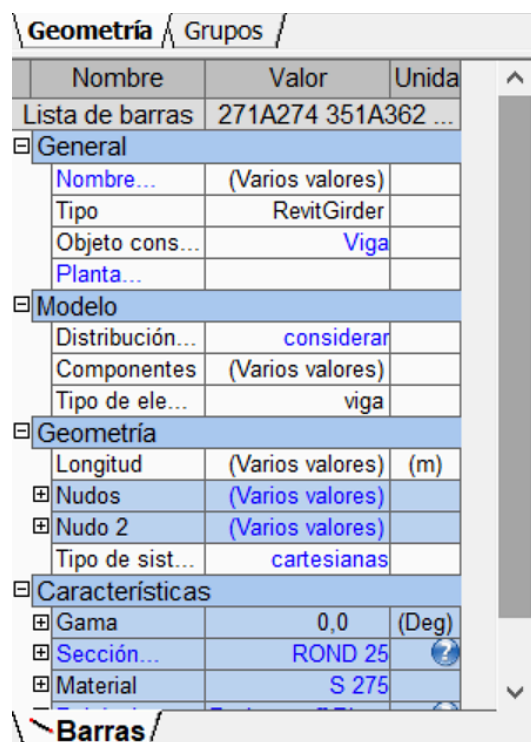


Ilustración 54 – Propiedades barras recién definidas

Una vez se ha hecho esto, se puede observar en la ventana de trabajo que las barras de las cruces de San Andrés ya tienen sección:

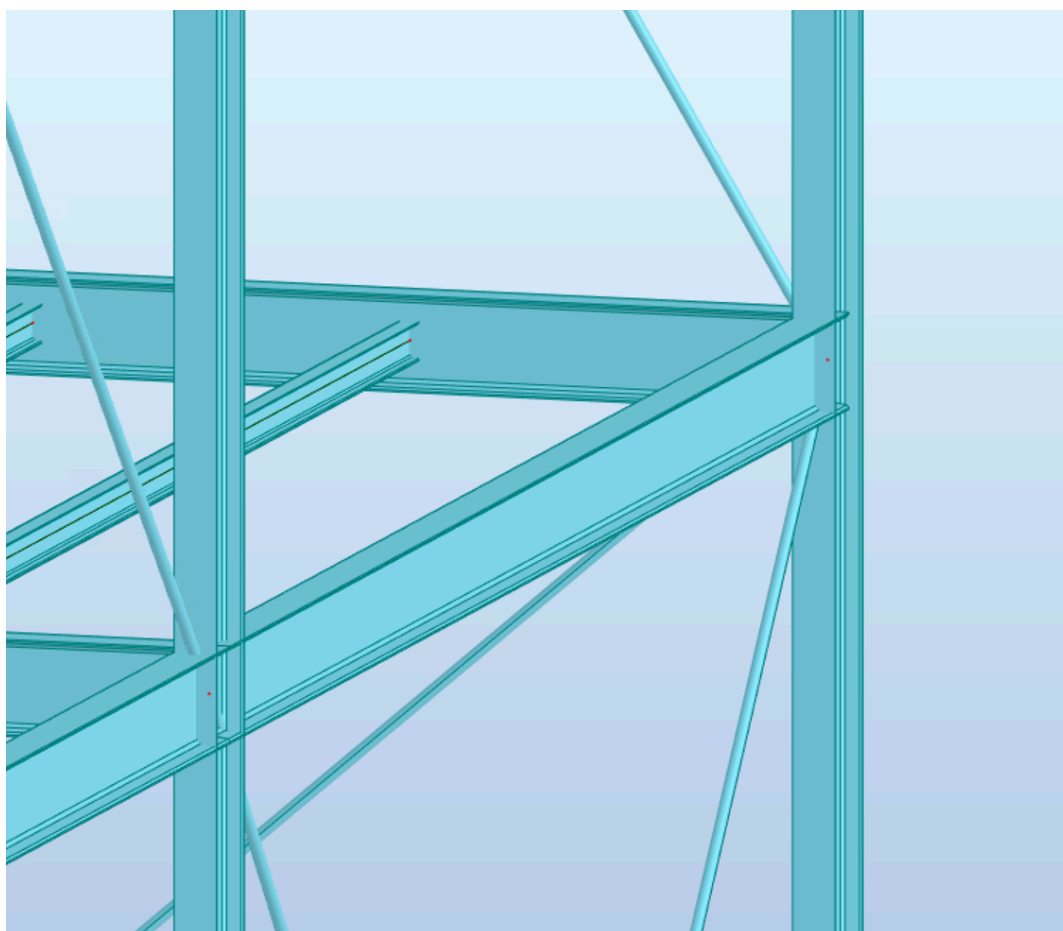


Ilustración 55 – Vista de cruces de San Andrés con sección

Habiendo corregido el único error que se indicó en la primera lectura en Robot, se puede por tanto empezar con la preparación del proyecto para la realización del análisis de la estructura. Sin embargo, ya que se ha podido apreciar imágenes del modelo de Robot, ha de comentarse un aspecto que se ha observado de este software al comenzar con su utilización: el nivel de detalle. Comparando con Revit, tal y como se aprecia en las imágenes de a continuación, el nivel de detalle de Robot es inferior.

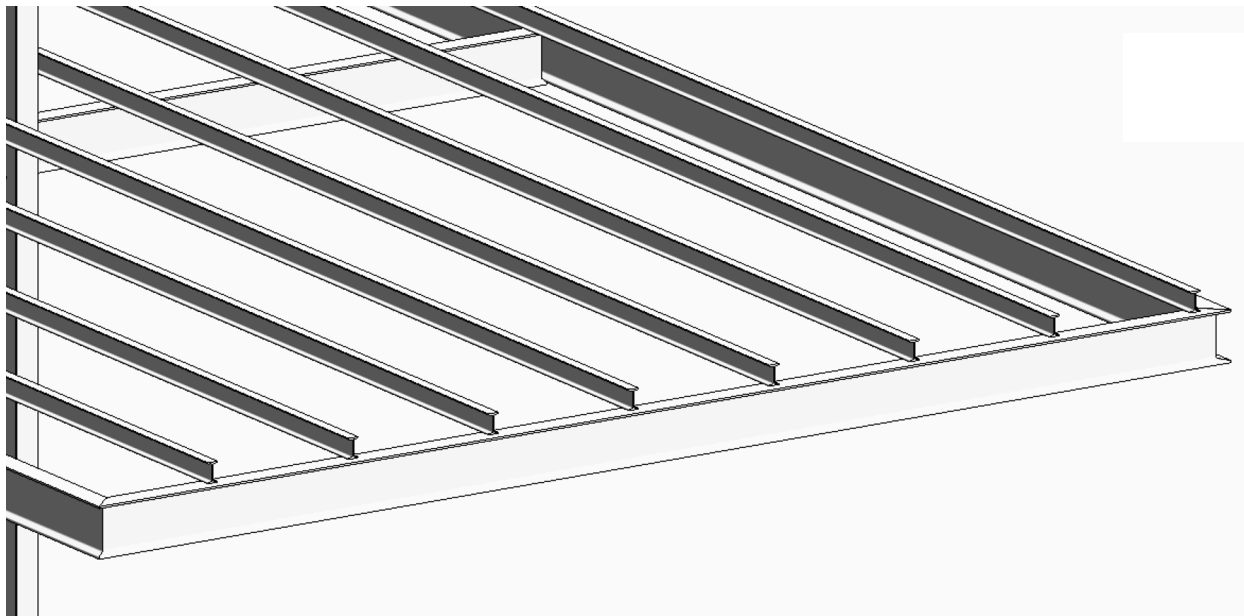


Ilustración 56 – Nivel de detalle del voladizo en Revit

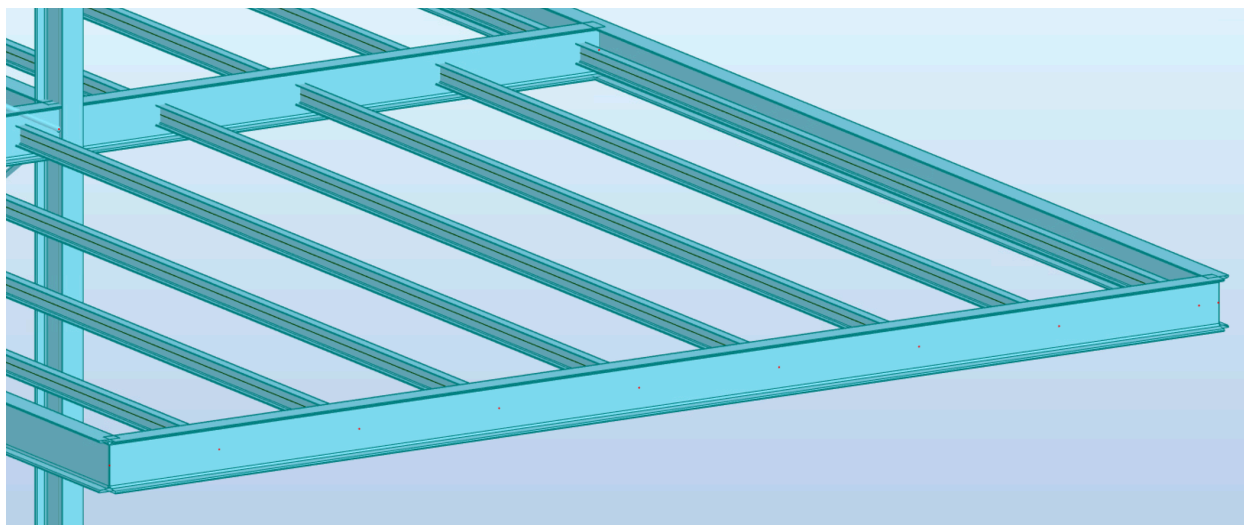


Ilustración 57 – Nivel de detalle del voladizo en Robot

Como se puede ver hay una gran diferencia, pero ha de recordarse que el modelo de Robot no deja de ser una lectura del modelo analítico de Revit. Además, al no ser la finalidad de este software presentar planos de la estructura y si la de realizar el cálculo de ésta, será más que suficiente el nivel de representación que se observa.

3.4 Preparación del Proyecto

Este apartado constará de pocos pasos, ya que el modelo de Revit se ha exportado con un elevado nivel de definición.

3.4.1 Configuración inicial

Lo primero que se debe hacer al comenzar a configurar un proyecto en Robot es indicar el tipo de estructura que corresponde al modelo importado a Robot. Esto se realiza en el apartado “Tipo de estructura”, siendo éste el primero que se encuentra al pulsar en la pestaña “Estructura”. Al clicar en él aparece la siguiente ventana con los distintos tipos de estructura:



Ilustración 58 – Ventana de tipos de estructuras

Para el actual proyecto se ha seleccionado la opción de “Pórtico espacial”, la cual aparece recuadrada en la imagen anterior. Un pórtico espacial es una estructura reticular formada por una serie de barras unidas rígidamente, lo cual se corresponde con la definición de la estructura de este proyecto.

Como se ha comentado en algún apartado anterior, se ha de indicar las normativas que se van a utilizar previamente de realizar el cálculo de la estructura. Para ello se debe clicar sobre el icono llamado “Herramientas”, el cual se encuentra en la barra de herramientas superior. De éste se despliegan varias opciones, de entre las que se encuentra una que se llama “Preferencias para el proyecto” y que, si se pulsa, se abrirá la siguiente ventana:

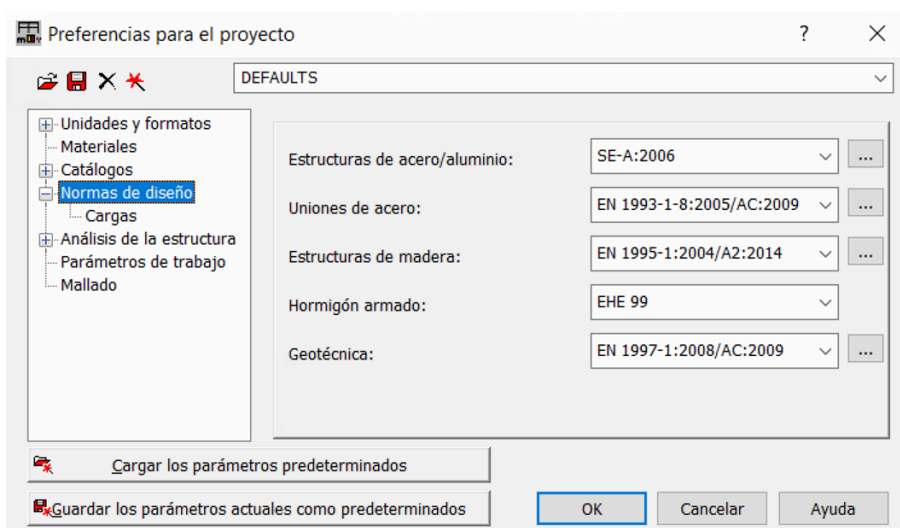


Ilustración 59 – Ventana de preferencias para el proyecto. Normas de diseño

Como se puede observar, se ha seleccionado el apartado de “Normas de diseño”, en la que se ha seleccionado para estructuras de acero la norma SE-A:2006, que es el Documento Básico perteneciente al Código Técnico de Edificación con el cual se ha estado trabajando en este proyecto. Se puede destacar que la normativa de hormigón que hay seleccionada no es la versión actual, pero para el caso de esta estructura no afectará en nada. Respecto al resto de normativas, se quedan las que venían por defecto.

Si se selecciona ahora el subapartado de “Cargas”, la ventana de preferencias para el proyecto pasa a tener el siguiente aspecto:

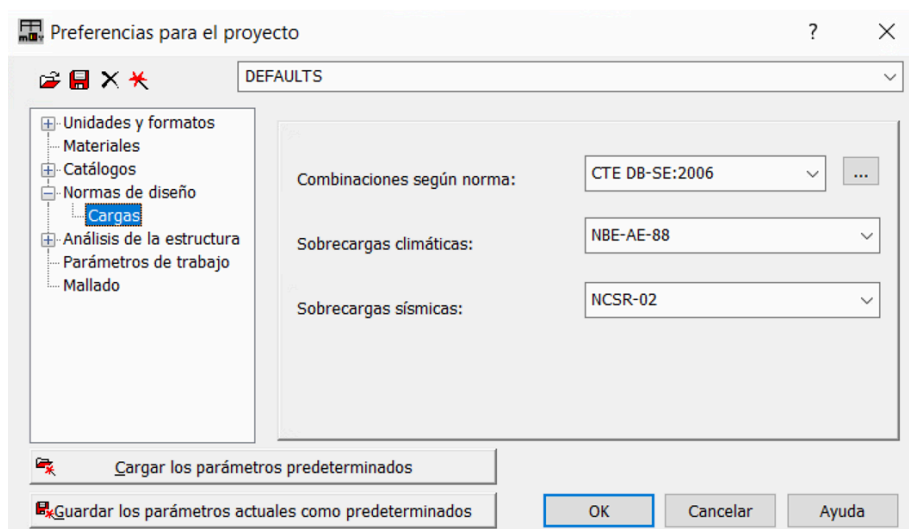


Ilustración 60 – Ventana de preferencias para el proyecto. Cargas

Para las combinaciones de los casos de cargas se ha elegido la misma normativa que se eligió para el acero en el apartado de anterior, es decir, el CTE DB-SE: 2006. De este apartado se puede destacar que aparece un error en el código de la norma para sobrecargas sísmicas, siendo su código correcto NCSE-02.

Respecto a las unidades con las que se ha trabajado son las siguientes:

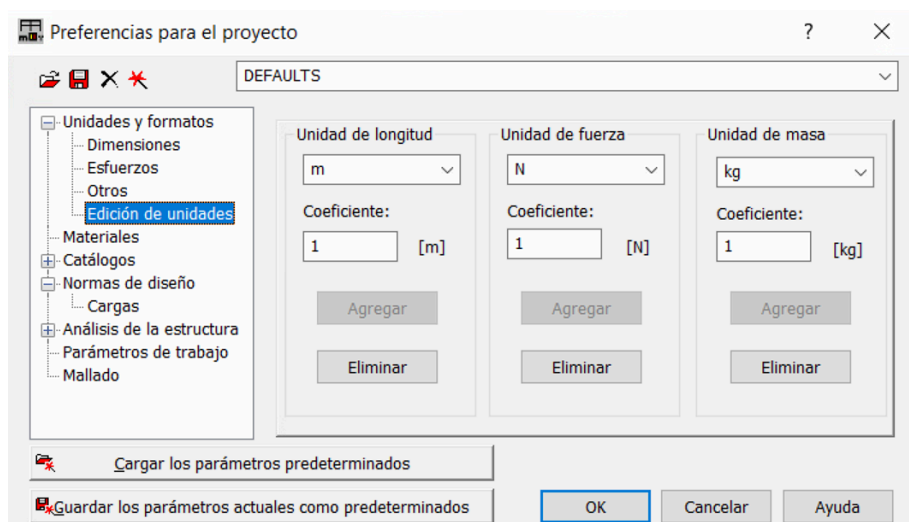


Ilustración 61 – Ventana de preferencias para el proyecto. Edición de unidades

3.4.2 Combinaciones de los casos cargas

En Revit se modelaron las cargas a las que está sometida la estructura, pero es aquí donde se han de realizar las combinaciones de los distintos casos de éstas. Robot permite crearlas de tres formas: manualmente, automáticamente o a través de la importación de un archivo Excel. En este proyecto se van a generar mediante la opción automática que incluye el software a partir de la norma aplicada, pero en este caso no contemplará algunos aspectos que habrá que modificar, como son las orientaciones de las acciones.

Lo primero que se hace es ir a la pestaña “Cargas”, en la cual se encuentra la opción “Combinaciones automáticas”. Al pulsarla aparece la siguiente ventana:

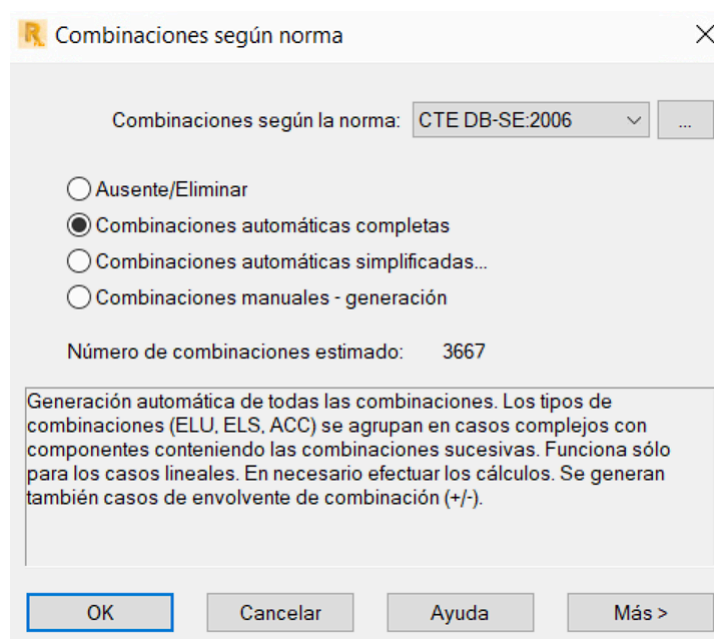


Ilustración 62 – Ventana con la estimación de combinaciones de cargas automáticas

Como se ha comentado, hay ciertos aspectos que hay que modificar. Volviendo al ejemplo que se ha mencionado antes, el que no se tenga en cuenta la orientación de las acciones a la hora de realizar las combinaciones hace posible que se contemple situaciones como la de que haya viento proveniente del norte y del sur a la vez, lo cual es imposible. Este y otros casos son ejemplos de combinaciones que se tienen en cuenta y que generan un número de muy elevados de éstas, tal y como se puede observar en la imagen anterior. Esto sitúa a la estructura en una tesitura alejada de la realidad, por lo que se ha de arreglar.

En la parte inferior derecha de la venta que se tiene abierta aparece la opción “Más >”, la cual habrá que pulsar para arreglar dichos errores en las combinaciones. Al pulsarla aparece la ventana de a continuación:

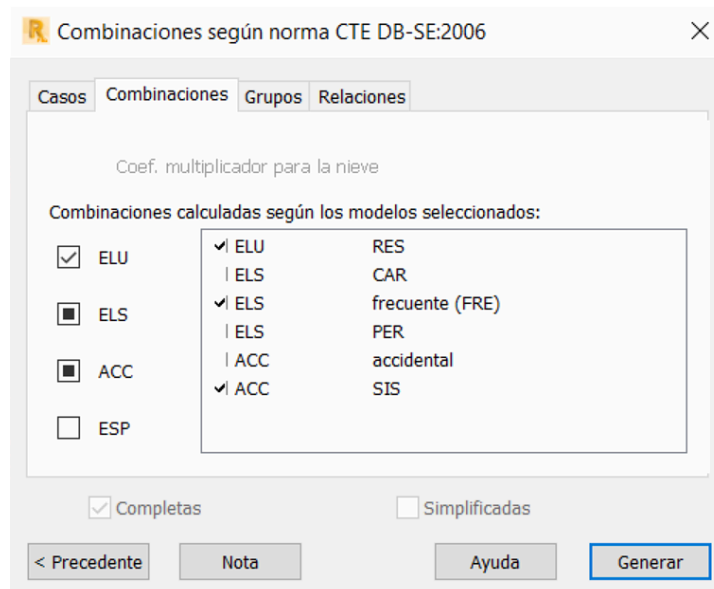


Ilustración 63 – Ventana de combinaciones automáticas según la norma aplicada

En esta ventana se encuentran cuatro pestañas diferentes, donde se aprecia que la primera se llama “Casos”. En esta se puede ver una lista de los casos de carga que se definieron en Revit, indicando su naturaleza y el grupo al que pertenece. En cambio, la que se observa en la imagen es la de “Combinaciones” y en ella se seleccionan los modelos que se van a utilizar para el análisis, habiendo los siguientes tipos según la norma que se eligió:

3.4.2.1 ELU: Estado Límite Último

Representa la capacidad resistente de la estructura que en caso de ser rebasada hace que ésta o parte de ella colapse. Solo hay una opción en este Estado Límite: RES, el cual hace referencia a las comprobaciones resistentes de la estructura. Este modelo se ha de seleccionar por motivos evidentes.

3.4.2.2 ELS: Estado Límite de Servicio

Representa la capacidad de la estructura que en caso de ser rebasada hace que se produzca en ésta una pérdida de funcionalidad o un deterioro de una de sus partes, pero no habrá riesgo a corto plazo. En este Estado Límite hay tres tipos diferentes:

- CAR, el cual hace referencia a “Característica”. Ésta coincide con la combinación fundamental ELU y se utiliza para la verificación de ELS irreversibles. Esta combinación es rara y poco probable y, además, las situaciones irreversibles ya se estudian en el ELU.
- FRE, el cual hace referencia a “Frecuente”. Se utiliza para la verificación de ELS reversibles. Ésta si que se ha elegido, ya que es interesante conocer los límites de situaciones que no producen daño en la estructura.
- PER, el cual hace referencia a “Permanente”. A pesar de que se utiliza también para algunos ELS reversibles, su principal uso es para evaluar efectos diferidos. En este también se aplican las prescripciones recogidas para la combinación fundamental ELU, por lo que tampoco se ha elegido.

3.4.2.3 ACC: Accidentales

Representan la capacidad de la estructura frente a impactos y otras acciones consideradas accidentales. Se incluyen dos tipos de combinaciones en esta categoría:

- Accidentales. En estas se contemplan impactos de vehículos de carretera con algún elemento estructural, impactos contra un sistema de contención de vehículos, impactos de vehículos ferroviarios e impactos de embarcaciones, entre otras. Al ser un recinto privado por el que no se desplazarán apenas vehículos, se ha decidido no elegirla tampoco.
- SIS, el cual hace referencia a “Sísmicas”. En esta se considera los efectos que definidos por la NCSE-02. Esta combinación si se ha elegido, ya que se han tenido en cuenta las cargas sísmicas obtenidas en la Memoria de Cálculo Estructural.

3.4.2.4 ESP: Especiales

Representa la capacidad de la estructura frente a situaciones especiales, las cuales se encuentran fuera del ámbito de estudio de la estructura del actual proyecto. Por tanto, tampoco se han seleccionado.

Visto esto, queda definida esta pestaña tal y como se observa en la última imagen. Se cambia entonces a la siguiente pestaña, llamada “Grupos”. Ésta presenta el siguiente aspecto:

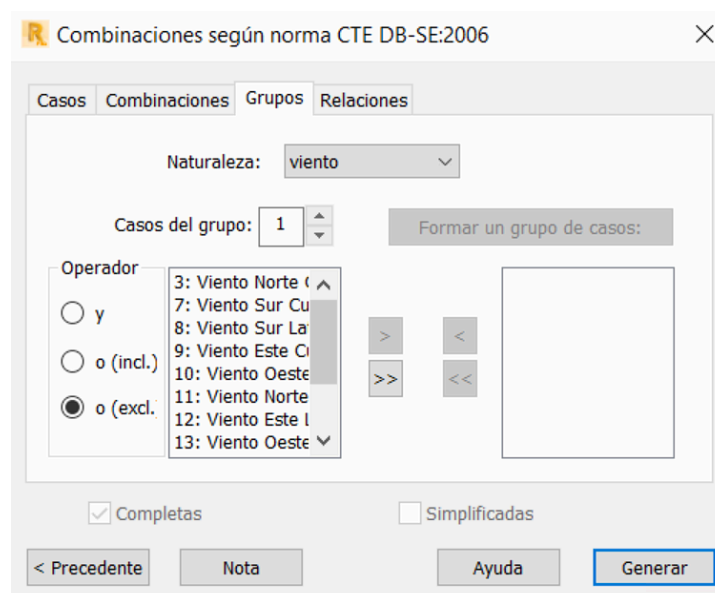


Ilustración 64 – Ventana de grupos de casos de cargas

En esta y en la siguiente pestaña es donde se configuran las combinaciones de acciones de tal forma que no ocurran situaciones como la del ejemplo de las orientaciones del viento que se comentó anteriormente. Para ello, en esta pestaña se han separado los casos de carga de cada naturaleza en un grupo distinto, es decir, dentro de la naturaleza viento se ha metido en un grupo distinto cada caso de carga, generándose así 12 grupos distintos. Para sismo y sobrecarga de uso hay 4 en cada uno, habiendo entonces 20 por ahora. Si a esos se le suman los casos de peso permanente y nieve, los cuales no hace falta agruparlos por ser los únicos en su naturaleza, hacen un total de 22, que fue la cantidad de casos que se definieron en el capítulo anterior.

Una vez se ha hecho esto, se ha de ir a la pestaña “Relaciones”, la cual tiene el siguiente aspecto:

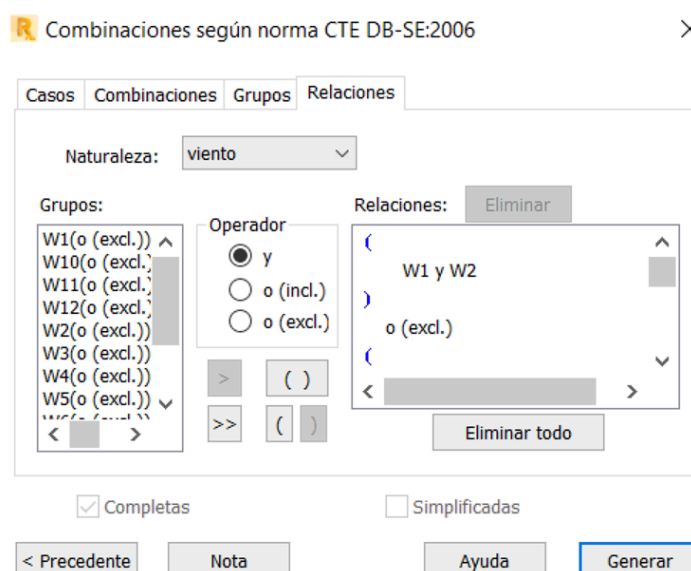


Ilustración 65 – Ventana de relaciones entre los grupos de casos de carga

En esta pestaña se han de definir aquellas relaciones que están permitidas o, por lo contrario, las que no son lógicas. En esta pestaña, al igual que a la hora de hacer los grupos, solo se pueden realizar entre casos de carga o grupos de estos de una misma naturaleza. Existen para ello tres operadores distintos que permiten efectuar estas relaciones, los cuales funcionan de la siguiente forma:

- Y. Este operador activa simultáneamente todas las cargas que se relacionen a través de éste.

- O (exclusivo). Este operador se utiliza cuando las cargas de un grupo de carga en particular se excluyen mutuamente.
- O (inclusivo). Este operador permite todas las combinaciones posibles entre grupos de casos de carga.

Aparte de estos operadores, se encuentra la opción de utilizar paréntesis para facilitar las relaciones. Al igual que antes con los grupos, menos las de naturaleza peso permanente y nieve, el resto si han creado relaciones entre las de su propia naturaleza. A continuación, se explican brevemente las relaciones que se han configurado:

- Naturaleza Sísmica. Como es prácticamente imposible que ocurran sismos provenientes de más de una orientación, se ha utilizado el operador “o (exclusivo)” entre las 4, generando así que solo pueda haber un grupo de cargas de esta naturaleza actuando en cada en cada combinación de acciones.
- Naturaleza Explotación, también llamada Viva. Entre los grupos de cargas de esta naturaleza se encuentran dos de cargas uniforme, siendo uno de cubierta y otro de interior, y otros dos de carga concentrada, siendo también uno de cubierta y otro de interior. En la Memoria de Cálculo Estructural se dijo que el Documento Básico mencionaba que las cargas concentradas actuaban de forma independiente y no simultánea con la distribuida uniformemente, por lo que ambos grupos se relacionarán mediante el operador “o (exclusivo)”. Dentro de los grupos también se utiliza “o (exclusivo)”, ya que el Documento Básico menciona también que las cargas de la cubierta son no concomitantes con el resto de las acciones variables.
- Naturaleza Viento. Para esta naturaleza se recuerda que hay 3 grupos de casos de carga por cada orientación, siendo estos uno de los casos de cargas laterales y los otros dos de las dos posibilidades de cargas sobre la cubierta. Por tanto, para cada orientación se ha creado dos grupos, el primero, en el que se incluyen las cargas laterales y una opción de las cargas de cubiertas, y el segundo, en el que se incluyen las cargas laterales también y la otra opción de las cargas de cubierta. Entre los grupos de las orientaciones y de los de una misma se ha utilizado el operador “o (exclusivo)”, mientras que dentro de los grupos que se han definido dentro de una misma orientación se ha utilizado el operador “y”.

Habiendo realizado ya todo esto, se le ha de dar a generar. Esto hace que se cierre esta pantalla, ya que se han creado finalmente las posibles combinaciones de acciones que se aplicarán en el análisis. Para comprobar esto se abre de nuevo la opción de “Combinaciones automáticas” de la pestaña “Cargas”. Se observa ahora que en la ventana de combinaciones de acciones el número de combinaciones estimadas ha disminuido considerablemente, siendo este igual a 571. Se aprecia a continuación el nuevo aspecto de esta ventana con la nueva estimación de combinaciones:

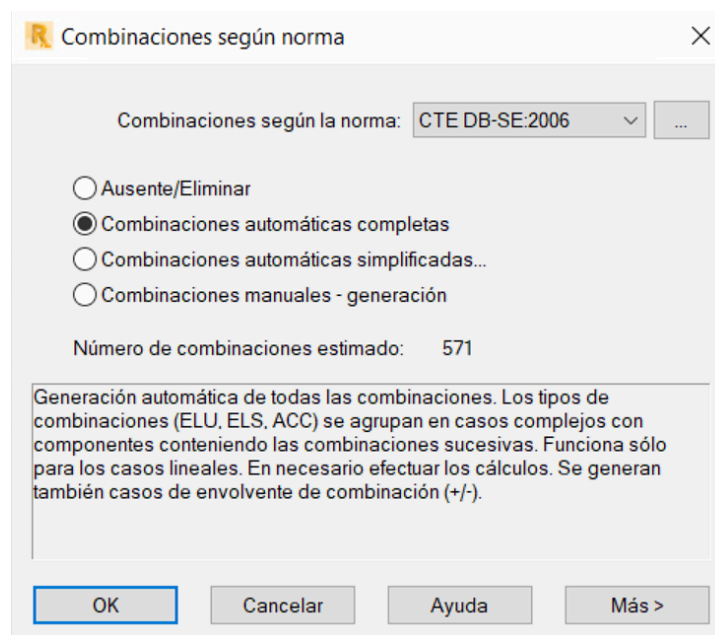


Ilustración 66 – Ventana con la nueva estimación de combinaciones de cargas automáticas

3.4.3 Creación de grupos de dimensionamiento

Antes de realizar el cálculo de la estructura se ha realizado dos pasos más que facilitarán posteriormente el dimensionamiento de los elementos. La herramienta que se ha utilizado para el primero agrupa un conjunto de barras bajo un mismo nombre, según las necesidades que se tengan. El proceso para realizar esto es sencillo, tan solo teniendo que irse al inspector de objetos que está a la izquierda de la pantalla y, una vez se tengan las barras que se quieran agrupar señaladas en el modelo, se le clicla en el botón derecho dentro del inspector de objetos y se le da a la opción de “Crear el grupo según la selección”.

Para el actual trabajo se han realizado los siguientes grupos que se observan en el inspector de objetos de la siguiente imagen:



Ilustración 67 – Ventana de inspector de objetos con los grupos creados

Como se puede apreciar se han agrupado las distintas correas de cada cubierta, los forjados por zona y planta, los pilares según el código de colores que se indicó en el capítulo anterior y, por último, las vigas por perfil y zona en la que se encuentran.

Para el segundo paso se ha de ir a la pestaña “Dimensionamiento”. En ella se encuentra el apartado “Dimensionamiento – barras de acero – opciones” del que sale un desplegable de opciones donde se ha de seleccionar el que se llama “Barras/Grupos – Definición”. Al seleccionarlo saldrá la siguiente ventana:

Ilustración 68 – Ventana de creación de grupos de dimensionamiento

En esta ventana, con ayuda de los grupos que se acaban de crear, se han de hacer los mismos para que después, cuando se haya hecho el cálculo de la estructura, se generen tablas de verificaciones de barras por grupos que se han generado. Tan solo habrá que darle al icono de “Nuevo”, introducir el número de las barras de cada grupo en “Lista de barras”, ponerle el nombre del grupo en “Nombre” y darle a “Guardar”. Se ha repetido este proceso para todos los grupos de barras que se hizo en el paso anterior y cuando se ha acabado se ha pulsado “OK”.

Se puede destacar que en la opción de material aparece el acero S 275, el cual se eligió como material predeterminado en las herramientas de preferencias del proyecto.

3.5 Cálculo de le estructura

En este apartado, una vez que el proyecto ya ha sido configurado, se procede a preparar el modelo y, posteriormente, a realizar el cálculo de la estructura.

3.5.1 Comprobación del tipo de análisis

Para la comprobación del análisis tan solo habrá que ver si cada caso de carga se ha programado para un análisis del tipo “Elástico lineal”. Para ello se ha de ir a la pestaña “Análisis”, en la cual aparece la opción “Tipo de análisis”. Si se pulsa en ella deberá aparecer una ventana como la siguiente:

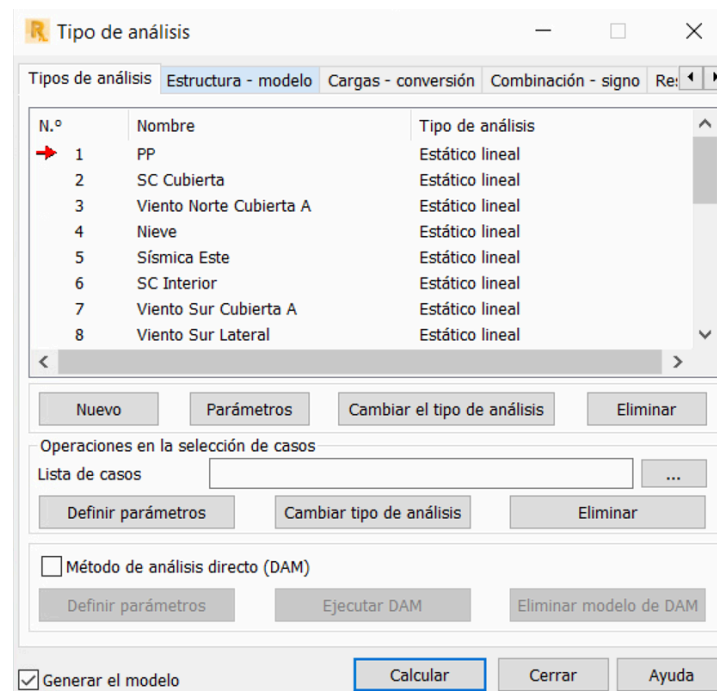


Ilustración 69 – Ventana de tipos de análisis

Como se puede observar, todos los que se ven están en un tipo de análisis “Elástico lineal”. Si se desplaza para abajo y se ve para lo siguientes casos también aparecen en ese tipo de análisis. Por tanto, está todo correcto para realizar el cálculo de la estructura

3.5.2 Cálculo de la estructura

Por fin se puede realizar el cálculo de la estructura. Para ello tan solo hay que darle a la opción “Calcular” que se encuentra en la pestaña “Analizar”, justo debajo de la opción del paso anterior. Al pulsarla aparece la siguiente ventana:

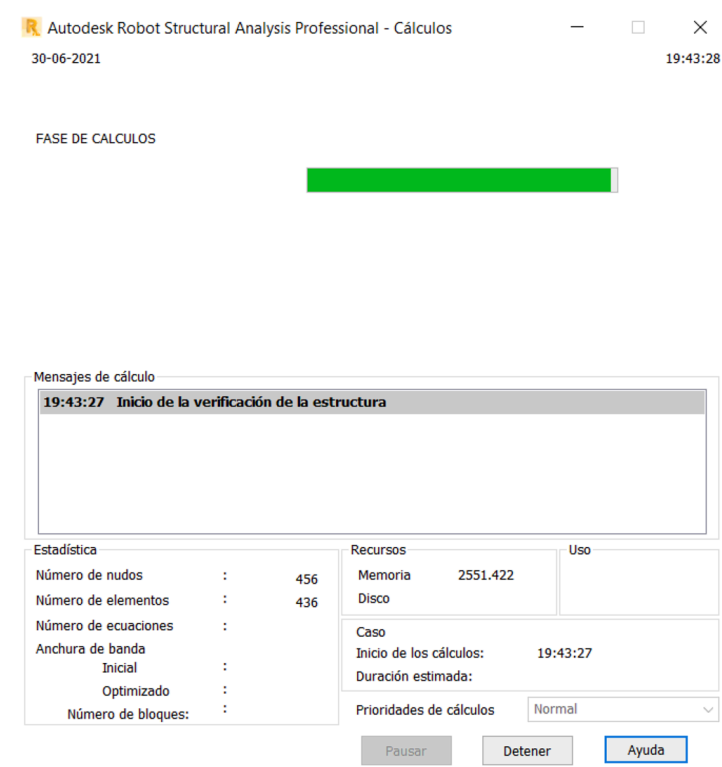


Ilustración 70 – Ventana de cálculo

Comienza el proceso de cálculo en Robot y aparece la siguiente ventana:

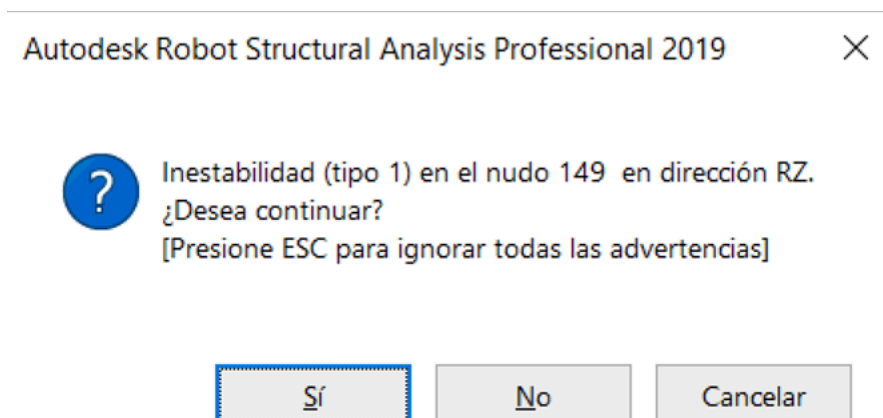


Ilustración 71 – Advertencia en el cálculo

El programa está avisando de que hay algunos nudos en la estructura que presentan una inestabilidad debida al giro. En él se permite el desplazamiento horizontal al no contrarrestar el giro debido a un apoyo móvil. Al ser una advertencia y no un error, no representará un problema estructuralmente hablando, por lo que se ha pulsado escape y se ha continuado con el cálculo.

Finaliza el cálculo y aparece una ventana con varios mensajes acerca de éste donde se indica que no hay errores, tan solo advertencias por las inestabilidades. Por lo que se da por aceptado, pudiéndose así comenzar a analizar los resultados que se han generado.

3.6 Resultados

Para poder observar los resultados obtenidos se ha de cambiar la pantalla a la de “Resultados”, lo cual se hace en el desplegable que se aprecia en la imagen de a continuación, el cual se encuentra en la barra de herramientas de la parte superior:

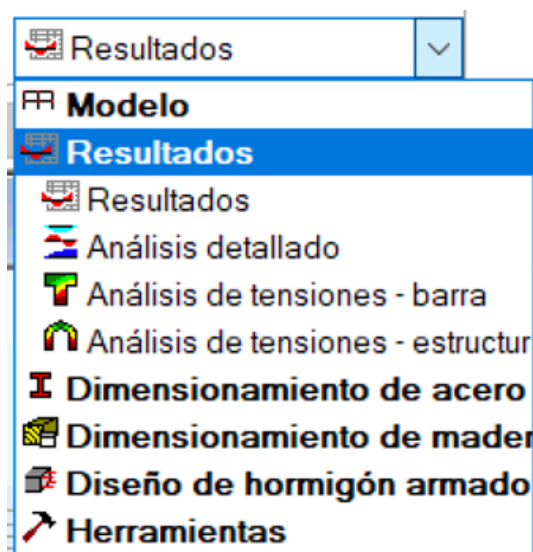


Ilustración 72 – Pantallas disponibles para los resultados

Si se pulsa el apartado “Resultados” de la pantalla que se acaba de abrir, en ella se podrán observar los diagramas, deformaciones, tensiones y reacciones, entre otras magnitudes, que cada elemento de la estructura soporta.

Al pulsar aparece una ventana en la que se indica el tipo de esfuerzo que quiere observarse aplicado sobre la estructura y el valor de la escala a la que se quiere ver. A continuación, se adjuntan un diagrama de la estructura una vez calculada:

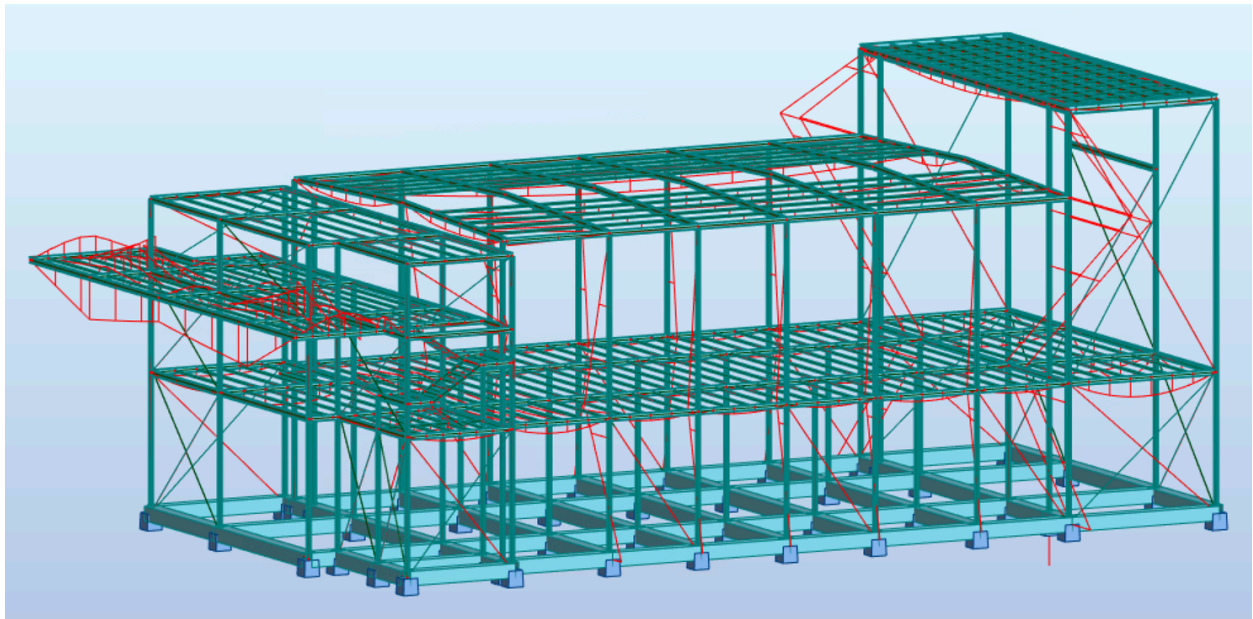


Ilustración 73 – Diagrama Momento Flector M_y

Como se observa la estructura está sometida a esfuerzos muy elevados, por lo que la estimación de los perfiles que se ha llevado a cabo no es correcta. Robot, a pesar de que se le ha introducido un coeficiente de escala, deja ver que los esfuerzos son desorbitados, añadiendo que el máximo del valor de 1554 kNm aproximadamente.

Por tanto, habrá que cambiarlos por otros que puedan soportar los esfuerzos que generan las cargas sobre la estructura. En el siguiente apartado se explica el proceso que se ha llevado a cabo para conseguir los perfiles óptimos.

3.7 Dimensionamiento de los elementos

Para la realización de este apartado se ha trabajado en el apartado de “Dimensionamiento de acero”, el cual se ubica en el mismo desplegable donde se accede para obtener los diagramas que se comentan en el apartado anterior. Al pulsar en ese apartado aparecen varias opciones, de entre la que se encuentra la de “Barras de acero/aluminio (dim.)”. Al clicar en ésta se abre una pantalla de trabajo con dos ventanas como las siguientes:

Ilustración 74 – Ventana de creación de grupos de dimensionamiento

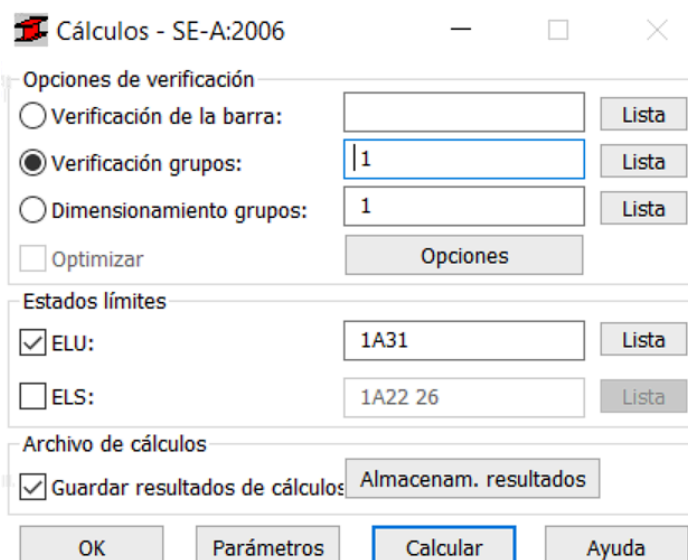


Ilustración 75 – Ventana de verificación y dimensionamiento de grupos

La primera de ellas ya se conoce, es la de creación de grupos de dimensionamiento. En cambio, la segunda no se había usado hasta ahora. En esta se calcula si los grupos de dimensionamiento tienen el perfil correcto según las solicitaciones y, en caso de que no se así, se dimensiona cuál es el perfil óptimo.

Antes de realizar eso ha de seleccionarse que se calcularán los perfiles para todas las combinaciones que se han generado previamente. Para ello se ha de ir a donde dice “Lista”, dentro del apartado de “Estados Límites”, concretamente para el caso de “ELU”. Al pulsar aparece la siguiente ventana:

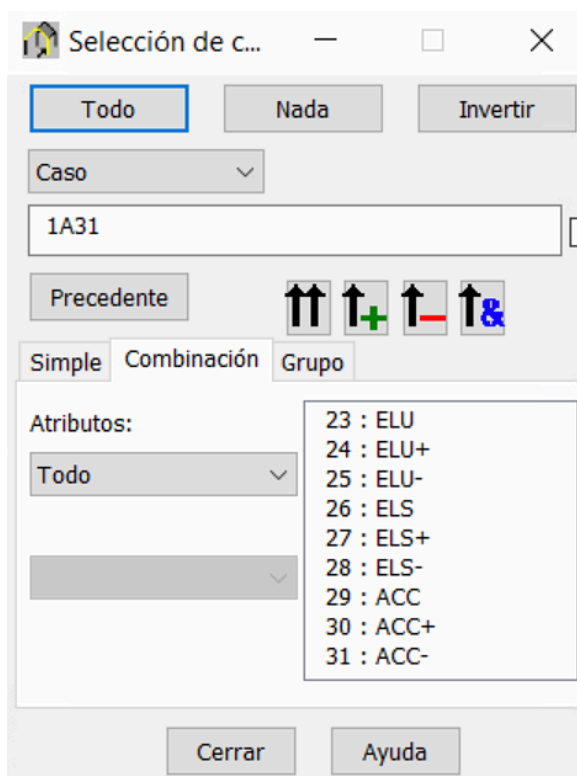


Ilustración 76 – Ventana de selección de las combinaciones a estudiar

Como se observa, se encuentra en la pestaña “Combinaciones”, en la cual se ha pulsado “Todo”. Por tanto, se calculará los perfiles para los casos simples y para las combinaciones generadas a partir de las que se configuró en el apartado de combinaciones de cargas.

Una vez hecho esto, se le da a cerrar y en la ventana de verificación y dimensionamiento debe aparecer “1A31”, tal y como se observa en un par de imágenes arriba. Para comprobar los perfiles se puede introducir el número de la barra donde dice “Verificación de la barra”, o bien, introducir el número de los grupos donde dice “Verificación grupos”. Se ha llevado a cabo de la segunda forma, ya que es más rápido y práctico. En esta opción, si se pulsa en “Lista”, también se puede elegir que se introduzcan todos los grupos, apareciendo así una ventana con la información de todos ellos por separado. Realizado esto, se le da a calcular y aparece una tabla como la siguiente con la información que se observa, pero para cada grupo por separado:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 4 Correas Altar						
253 RevitJoist 2	IPN 80	S 275	78.54	330.96	1.46	19 Sismica Oeste

Tabla 1 – Tabla de verificación del grupo Correas Altar

Tal y como se esperaba, debido a los diagramas con esfuerzos tan elevados que se vieron en el paso del apartado anterior, los perfiles no cumplen. Además de no cumplir se observan que algunas barras tienen unas solicitaciones muy elevadas, como es el caso que se observa en la tabla de a continuación:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
178 RevitGirder	IPN 400	S 275	26.01	130.55	45960.00	29 ACC /47/

Tabla 2 – Tabla de verificación de una barra con solicitud elevada

Esto no es lógico, ya que para que un perfil sea aceptable debe tener una solicitud por debajo del valor unidad y en este caso tiene un valor muy superior.

Antes de buscar solución se comentan los distintos tipos de resultados que pueden aparecer para los grupos de barras:

- Perfil inmediato inferior. El perfil no satisface los requerimientos de la norma elegida, pero el siguiente mayor si.
- Perfil inmediato superior. El perfil sí satisface los requerimientos de la norma elegida, pero está sobredimensionado, es decir, se tiene más sección de la necesaria.
- Perfil correcto. El perfil cumple los requerimientos que establece la norma elegida y, además, es la sección adecuada.
- Perfil incorrecto. El perfil no cumple con los requerimientos que establece la norma elegida.

- Perfil inestable. El perfil presenta una esbeltez inestable a pesar de que su solicitación es menor a la unidad.
- Perfil incorrecto e inestable. El perfil ni cumple con los requerimientos de la norma elegida ni tiene una esbeltez estable.

La única opción válida es la de “Perfil Correcto” y, en caso de que no sea la que aparece para algún grupo, se ha de ir a la opción “Dimensionamiento grupos”, añadir el número de grupo que se quiere dimensionar y darle a calcular. En esta opción también se puede añadir todos los grupos y que se obtenga una ventana con el dimensionamiento de cada uno. Al seleccionar esta opción aparece una tabla como la de a continuación:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 33 Vigas Acceso A14						
170	IPN 360	S 275	46.93	229.57	1.01	23 ELU /163/
RevitGirder_170	IPN 380		44.53	220.92	0.87	
	IPN 400		42.35	212.57	0.76	

Tabla 3 – Tabla de dimensionamiento del grupo 33

En esta se aprecia el perfil óptimo del grupo, el inmediato anterior y el inmediato superior. Todos con su solicitación correspondiente. Si se selecciona en cada grupo por individual el perfil correcto, aparece a la derecha la opción de “Cambiar”, la cual se debe pulsar. En caso de que se haya seleccionado que aparezca la lista entera de grupos, aparecerá la opción de “Cambiar todo”, lo cual hará que se cambien automáticamente todos los perfiles de los grupos al que aparece como “Perfil Correcto”.

Este proceso es iterativo ya que, al cambiarse los perfiles, las solicitaciones de los grupos lo hacen a su vez adaptándose a las nuevas secciones y a los nuevos pesos que soportan. Por lo que, una vez que se cambien los perfiles, se ha de realizar el cálculo de la estructura y volver a darle a la opción de dimensionar.


Una vez que se ha realizado varias veces este proceso, se observan los resultados que ya van siendo supuestamente definitivos de los grupos. Se aprecia, por ejemplo, el siguiente del grupo de correas de altar, el cual se verificó por primera vez en un par de tablas arriba:

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 4 Correas Altar						
257	IPN 180	S 275	78.54	330.96	1.25	23 ELU /187/
RevitJoist_257	IPN 200		70.71	302.75	0.84	
	IPN 220		64.30	278.98	0.60	

Tabla 4 – Tabla de dimensionamiento del grupo Correas Altar

En este no hay problemas, se sugiere que el perfil óptimo es ahora el IPN 200 y las solicitaciones se encuentran dentro de unos valores normales. En cambio, hay otros grupos que ocurre lo siguiente:

SE-A:2006 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 47

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 47 Vigas Laterales Acceso Bancos						
178	RevitGirder 	IPN 600	S 275	17.50	95.24	46031.38
					29 ACC /47/	

Nota de cál.

Puntos de cálculo
 división: n = 3
 extremos : ninguno
 adicionales : ninguno

Tabla 5 – Tabla de dimensionamiento de un perfil máximo

En este grupo aparece que se ha cambiado al máximo perfil del tipo IPN y aun así sigue sin cumplir, destacando encima que la sollicitación tiene unos valores desorbitados. Esto no debería ocurrir.

Al analizar las diferentes barras de este grupo se observa que no todas tienen dicha sollicitación, sino que son solo las de los extremos. Investigando se ve que ocurre igual en los otros grupos que tienen una sollicitación tan alta con el perfil máximo y, además, que siempre son en barras que forman parte del perímetro de un sistema de vigas que conforma un forjado o unas correas.

Esto hace llegar a la conclusión de que las cargas no se están transmitiendo correctamente en el modelo. Por ejemplo, para las correas de la zona de los bancos, aunque estén apoyadas sobre los pórticos intermedios, el programa solo está entendiendo que debe transmitir las cargas a los de los extremos, ya que es en los únicos sitios donde hay nodos que conecten con las correas. Esto se debe a que se han modelado como un solo elemento que va de un pórtico extremo al otro.

Por tanto, no queda más remedio que volver a Revit y remodelar estos sistemas de vigas de forma que Robot sea capaz de transmitir las cargas de una manera lo más parecida a la realidad.

A continuación, se puede observar el modelo analítico de la estructura remodelada:

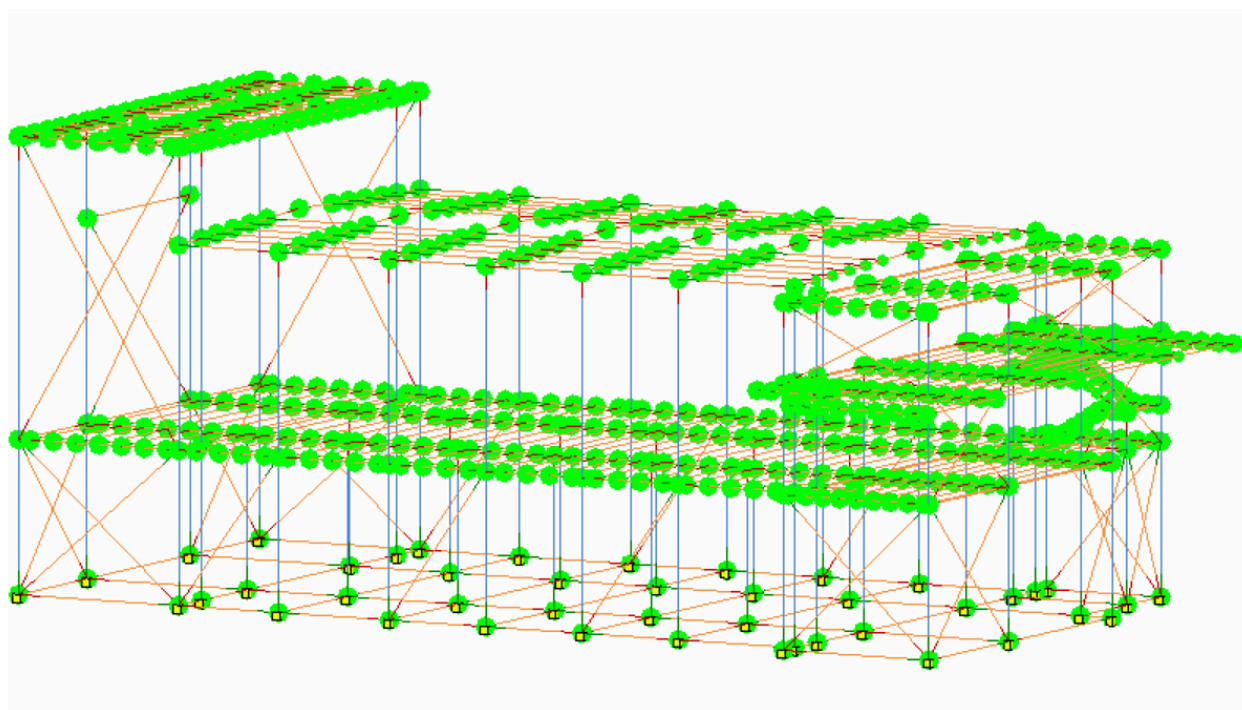


Ilustración 77 – Modelo Analítico de la estructura remodelada

Como se puede apreciar por la cantidad de nuevos nodos verdes que hay, se han modificado las zonas donde había antes un forjado o unas correas. Estructuralmente es lo mismo, es decir, no hay nada nuevo modelado, tan solo se han cambiado los sistemas de viga que había antes por otros más pequeños que cubren nada más que un vano.

Habiéndose arreglado ya esto, se supone que en Robot no debería dar más problemas de solicitaciones tan elevadas. Se procede, por tanto, a exportarlo de nuevo y realizar nuevamente los mismos pasos que se realizaron anteriormente hasta llegar al del proceso iterativo de dimensionamiento y cálculo de la estructura.

SE-A:2006 - Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 31

Barra	Perfil	Material	Lay	Laz	Solicit.	Caso
Grupo : 31 Vigas Laterales Acceso Bancos						
163	IPN 280	S 275	31.64	144.44	1.10	23 ELU /24/
RevitGirder_163	IPN 300		29.60	138.01	0.94	
	IPN 320		27.80	131.89	0.79	

Nota de cálc. Cerrar Ayuda

Puntos de cálculo
división: n = 3
extremos: ninguno
adicionales: ninguno

Tabla 6 – Tabla de dimensionamiento de las Vigas Laterales de la Planta Acceso en la Zona Bancos

La suposición era correcta. Con el remodelado de la estructura se ha conseguido solucionar el problema de las solicitaciones elevadas. Como se puede apreciar en la tabla anterior, las vigas laterales de la zona bancos tiene una solicitación coherente y su perfil óptimo es uno mucho menor.

En todas las ventanas que incluyen una tabla de dimensionamiento o de verificación se puede observar la opción “Nota de cálculo”, la cual si se clicla aparece la siguiente ventana:

RESULTADOS - norma - SE-A:2006

Grupo: 31 Vigas Laterales Acceso Bancos
Barra: 163 RevitGirder_163
Punto / Coordenada: 1 / x = 0.00 L = 0.00 m
Caso de carga: 23 ELU /24/ 1*1.35 + 2*1.50 + 13*0.90 + 14*0.90

IPN 300

Perfil correcto

OK

Resultados simplificados Resultados detallados

FUERZAS

N,Ed = 15.03 kN	My,Ed = -153.70 kN*m	Mz,Ed = 0.87 kN*m	Vy,Ed = 1.97 kN
Nc,Rd = 1741.04 kN	My,pl,Rd = 192.10 kN*m	Mz,pl,Rd = 30.72 kN*m	Vy,pl,T,Rd = 601.98 kN
Nb,Rd = 558.65 kN	My,c,Rd = 192.10 kN*m	Mz,c,Rd = 30.72 kN*m	Vz,Ed = 122.50 kN
			Vz,pl,T,Rd = 483.05 kN
			Tt,Ed = -0.27 kN*m
			CLASE DE LA SECCION = 1

PANDEO LATERAL

XLT = 1.00

PANDEO EN Y

Ly = 3.52 m	Xy = 0.97
Lk,y = 3.52 m	Cm,y = 0.95
Lamy = 29.60	ay = 0.60
Lam_y = 0.33	ky = 1.00

PANDEO EN Z

Lz = 3.52 m	Xz = 0.32
Lk,z = 3.52 m	Cm,z = 0.95
Lamz = 138.01	az = 0.60
Lam_z = 1.56	kz = 1.07

CONTROL DE LA SECCIÓN

$\sqrt{(\text{Sig},x,\text{Ed})^2 + 3 \cdot (\text{Tau},y,\text{Ed} + \text{Tau},t,y,\text{Ed})^2} / f_{y,d,0} = 0.94 < 1.00 \quad (6.1.(2))$

$V_z,\text{Ed} / V_{z,pl,T,Rd} = 0.25 < 1.00 \quad (6.2.8.(4))$

CONTROL DE LA ESTABILIDAD DE LA BARRA

Lamy = 29.60 < Lam,max = 210.00 Lamz = 138.01 < Lam,max = 210.00 ESTABLE

$N,\text{Ed} / (Xy \cdot A_x \cdot f_{y,d,1}) + k_y \cdot C_m \cdot y \cdot My,\text{Ed} / (XLT \cdot W_y \cdot f_{y,d,1}) + a_z \cdot k_z \cdot C_m \cdot z \cdot Mz,\text{Ed} / (W_z \cdot f_{y,d,1}) = 0.79 < 1.00$

Nota de cálc. Ayuda

Ilustración 78 – Nota de cálculo del perfil IPN 320 en el grupo Vigas Laterales Acceso Bancos

En esta se puede ver el valor de cómo se han obtenido las solicitaciones para cada perfil y, además, las distintas comprobaciones de los perfiles en resistencia y pandeo, bien normal o lateral.

Otra cosa que se puede destacar de la tabla anterior es que el número del grupo ha cambiado. Esto es porque aprovechando que se tenía que realizar de nuevo se ha hecho una división más fina de los grupos de dimensionamiento, consiguiendo así que haya una precisión mayor en el dimensionamiento de la estructura.

Visto que la solución al problema ha surtido efecto, se realiza el proceso iterativo hasta que todos los grupos aparezcan verificados como que cumplen. Esto se puede comprobar pulsando en la ventana de verificación y dimensionamiento donde pone “Almacenamiento de resultados”. Al pulsarla aparece la siguiente ventana con la siguiente tabla:

Archivo de resultados de cálculos **wyników obliczeń**

	Nombre	Norma	Fecha	Tiempo
●	##### Verificación de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	23:01:31
●	##### Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	23:01:28
✗	##### Verificación de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:50:10
✗	##### Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:50:08
✗	##### Verificación de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:42:18
✗	##### Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:42:16
✗	##### Dimensionamiento de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:32:21
✗	##### Verificación de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	22:32:16
✗	##### Verificación de grupos de barras (ELU) 1A48	SE-A:2006	06.07.2021	21:54:28

OK Mostrar Eliminar Ayuda

Tabla 7 – Tabla de resultados de cálculo almacenados

Como se puede observar aparece que se ha realizado la verificación y el dimensionamiento de los 48 grupos que se han creado y que cumplen todos, de ahí a que los círculos de la izquierda estén en verde.

A continuación, se adjuntan los diagramas de esfuerzos más destacables de la estructura, uno de momentos y dos de fuerzas, para así poder apreciar la diferencia con respecto a antes del arreglo del problema y del dimensionamiento.

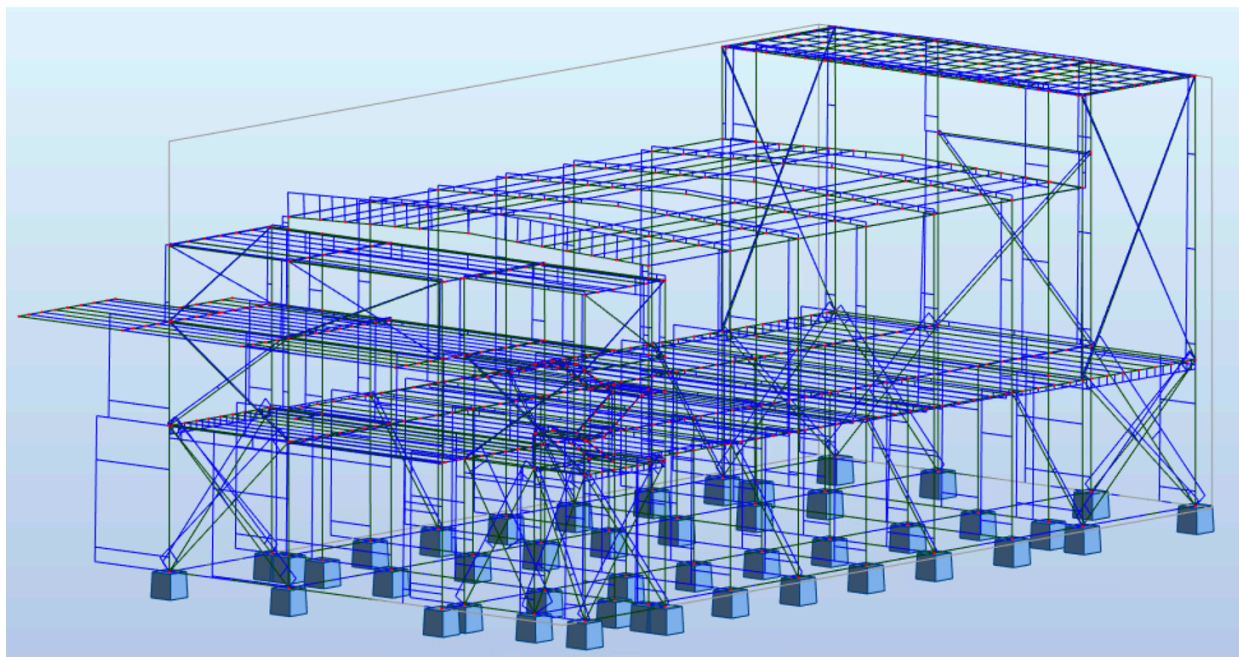


Ilustración 79 – Diagrama de esfuerzos Fx

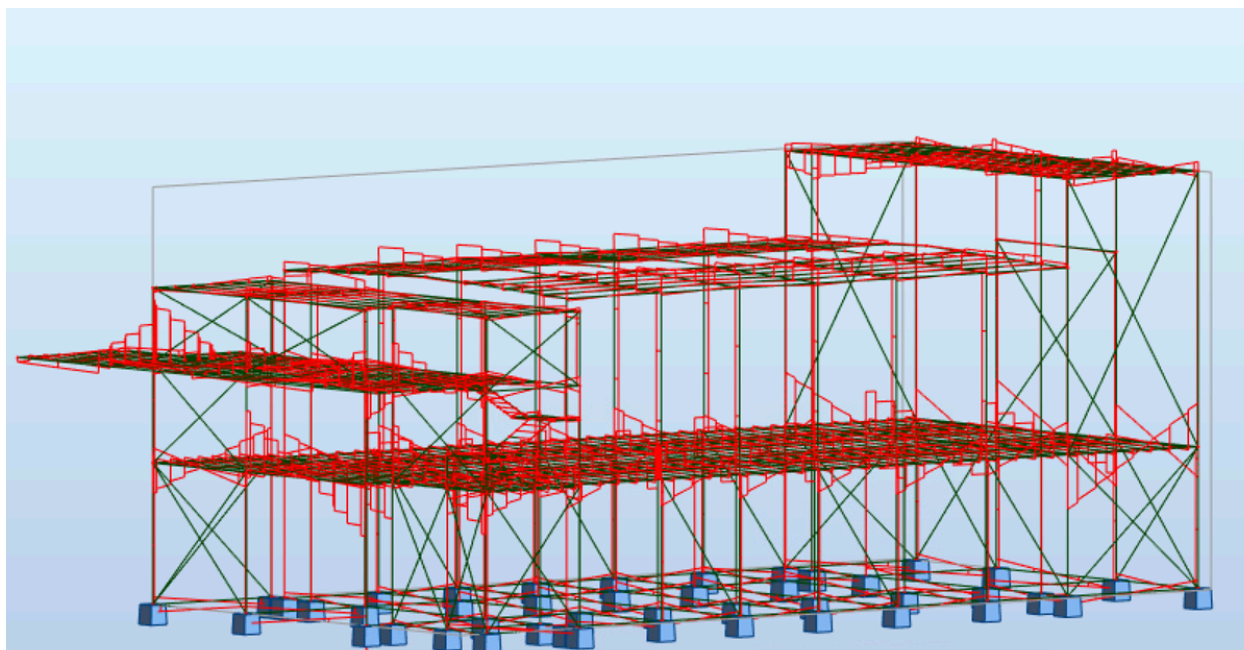


Ilustración 80 – Diagramas de esfuerzos Fz

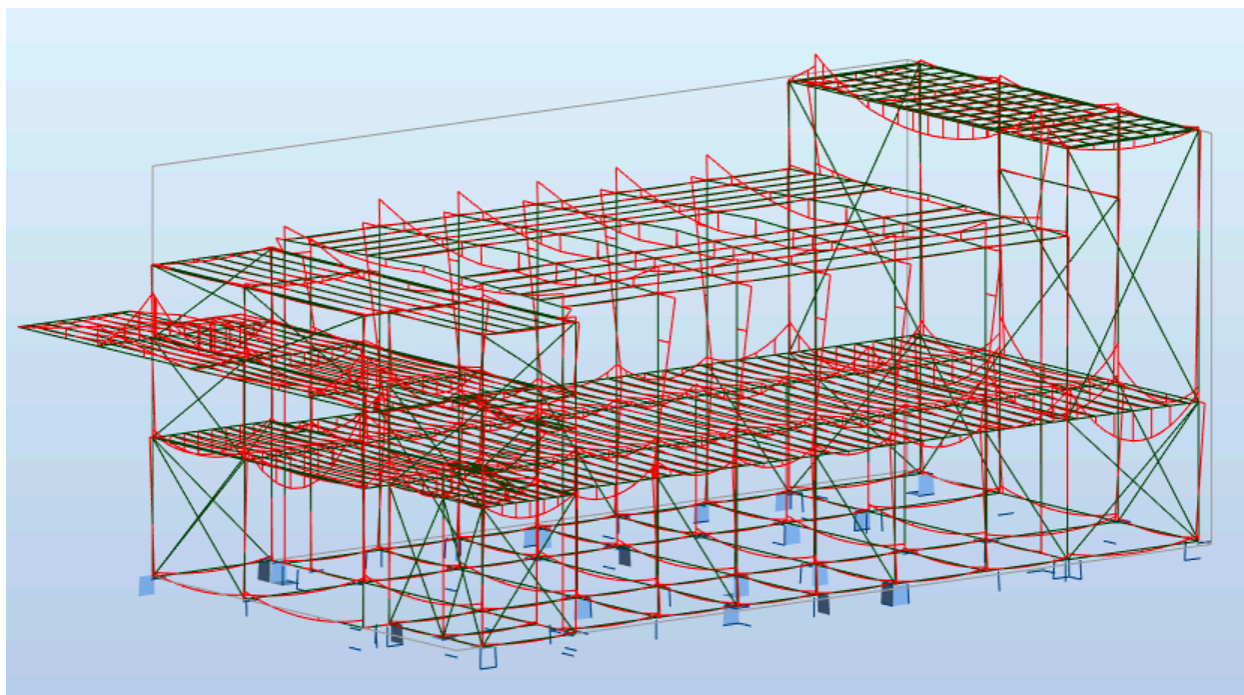


Ilustración 81 – Diagramas de esfuerzos My

En este caso el momento máximo tiene un valor de 104 kNm aproximadamente, más o menos 15 veces menos que al cuando se hizo el primer cálculo de la estructura.

Con esto ya se habría terminado el análisis mediante Robot, pudiéndose ahora extraer la información del programa y exportar el resultado de los cambios a Revit finalmente.

3.8 Obtención del informe de cálculo

Para obtener el informe de cálculo realizado en Robot se ha de ir al icono de la barra de herramientas “Componer impresión”. Si se pulsa debe aparecer una ventana como la siguiente:

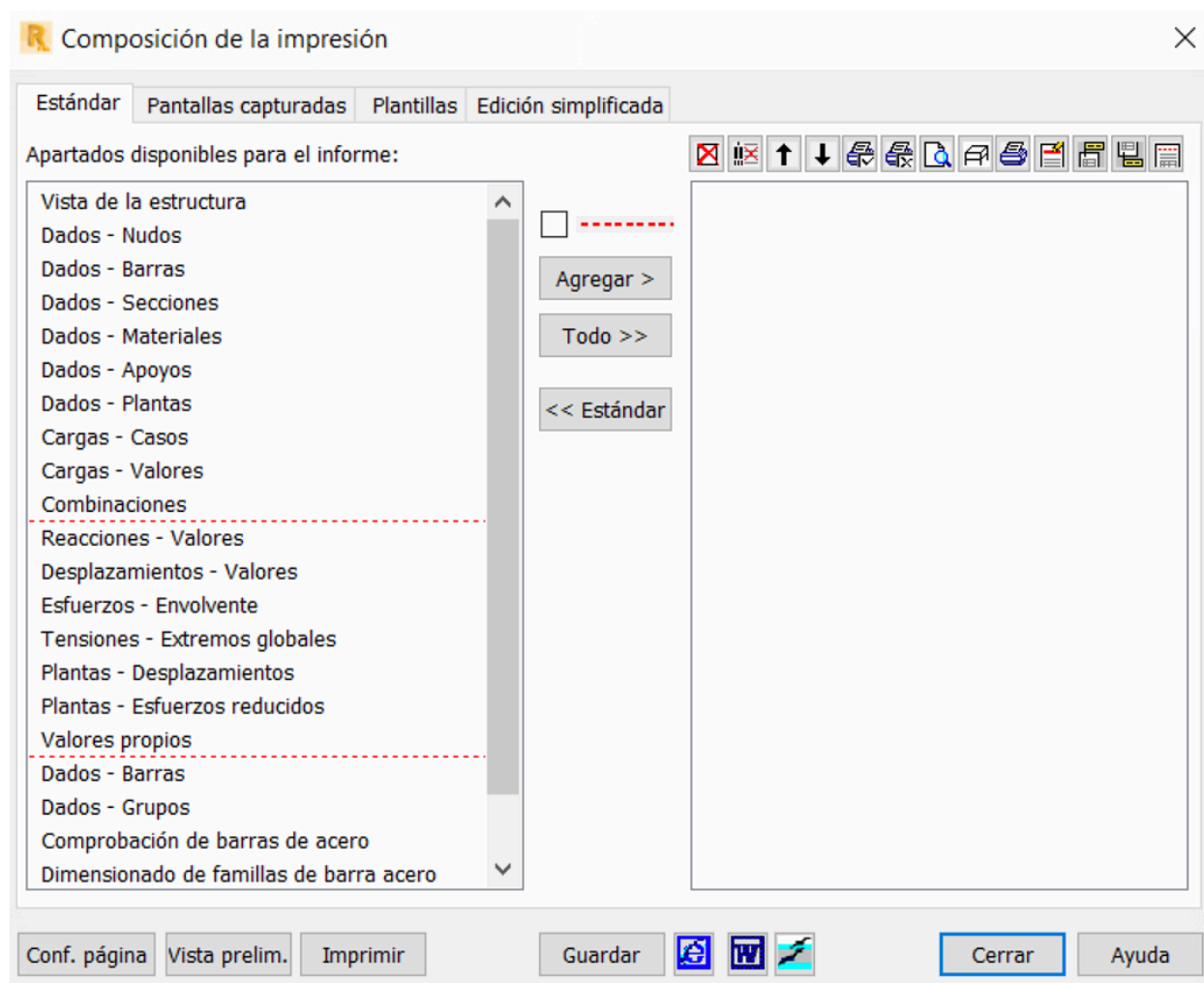


Ilustración 82 – Ventana de componentes para el informe de cálculo

La forma de proceder aquí es parecida similar a la que se utilizó para los grupos y las relaciones de casos de cargas, hay que agregar a la derecha lo que se quiera añadir al informe. Como se puede ver hay mucha información disponible para añadir, por lo que la extensión del informe dependerá del nivel de detalle que se quiera alcanzar.

Una vez se ha incluido todo lo que se ha visto oportuno se ha de pulsar “Imprimir”, tardando tantos minutos según la extensión del detalle hasta la que se haya llegado. Se obtiene finalmente un PDF con toda la información solicitada.

El informe no se ha adjuntado al actual documento debido a que tiene una extensión de unas 800 páginas, por lo que si se desea conocer se entrega adjunto con el resto de los archivos.

3.9 Integración Robot-Revit

Finalmente, ya habiendo dimensionado correctamente todos los elementos que componen la estructura se pueden pasar los resultados de Robot a Revit. Un beneficio que aporta la metodología BIM es la de la “bidireccionalidad selectiva”, la cual es posible entre estos dos softwares. Esta permite seleccionar solo ciertos elementos que se actualizarán en el modelo de destino, quedando el resto de la misma forma.

Para el actual proyecto no se ha visto preciso realizarlo, ya que no se ha realizado un estudio específico de ninguna parte en concreto. Por ejemplo, para edificios compuestos de subedificios o para estudiar la cimentación por separado es una gran herramienta de trabajo.

Para realizar el proceso de integración, ya sea completa o parcial, se ha de ir a la pestaña “Complementos”, en la que aparece un desplegable llamado “Integración”. De las opciones que aparecen se elige la que se llama “Autodesk Revit Structure”. Al pulsarla aparece la siguiente ventana:

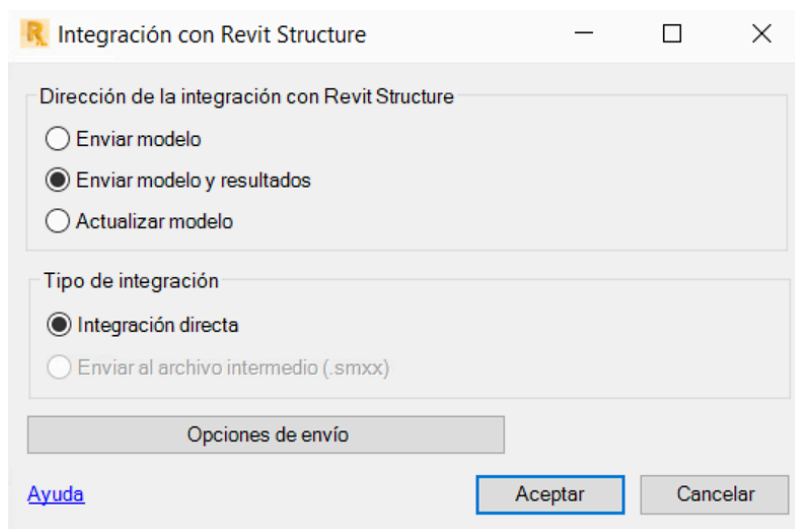


Ilustración 83 – Integración con Revit Structure

El cuadro de diálogo es el mismo que apareció cuando se exportó de Revit a Robot. Es en el icono de “Opciones de envío” donde aparece la opción de mandar una parte del modelo y no este completo. Al pulsarlo tan solo ha de clicar en “Enviar solo la parte seleccionada de la estructura” para que ocurra esto. La parte debe estar seleccionada previamente, sino no deja elegir dicha opción.

Para la situación actual tan solo ha de seleccionarse la opción de “Enviar modelo y resultados”, tal y como aparece en la imagen anterior. Una vez se ha realizado esto tan solo ha de darse a “Aceptar” y comienza a exportarse a Revit el modelo dimensionado.

Aparece una ventana indicando los errores que aparecen y los tiempos de ejecución que ha llevado igual que cuando se exportó de Revit a robot también. En esta, como se puede observar a continuación, no aparece ningún error:

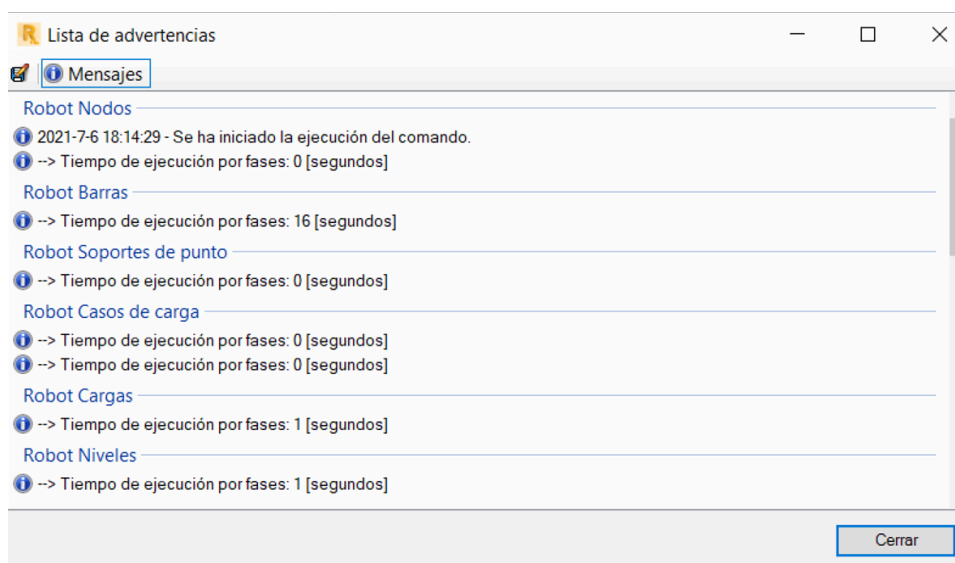


Ilustración 84 – Ventana de advertencias de la integración Robot-Revit

Este proceso de modificación del modelo, pese a no ser perfecto debido a un par de cambios rápidos que se han tenido que hacer, consigue tal resultado que no hace más que poner aún más en valor a la metodología BIM. Este proceso, que ha llevado tan solo unos minutos, podría haber durado horas, pero gracias a esta forma de trabajar se consigue un ahorro sustancial de tiempo.

Se finaliza este capítulo con una comparación de los dos modelos finalizados:

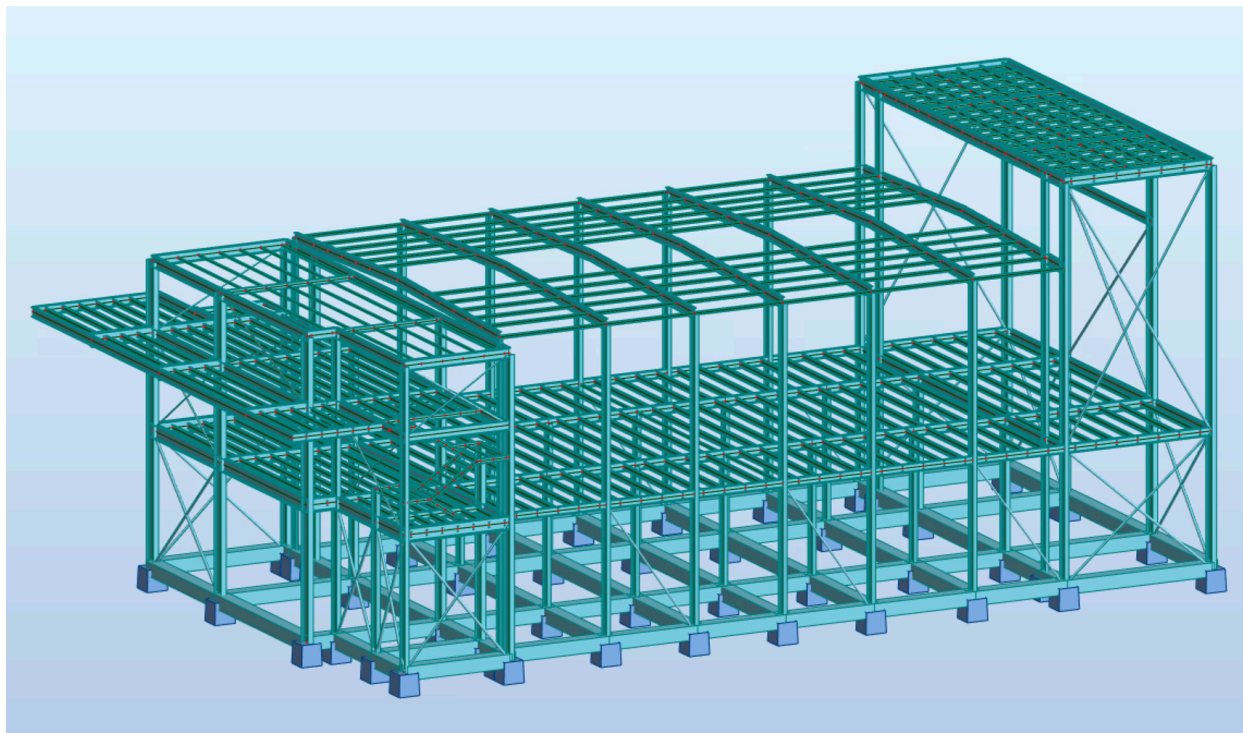


Ilustración 85 – Modelo final en Robot

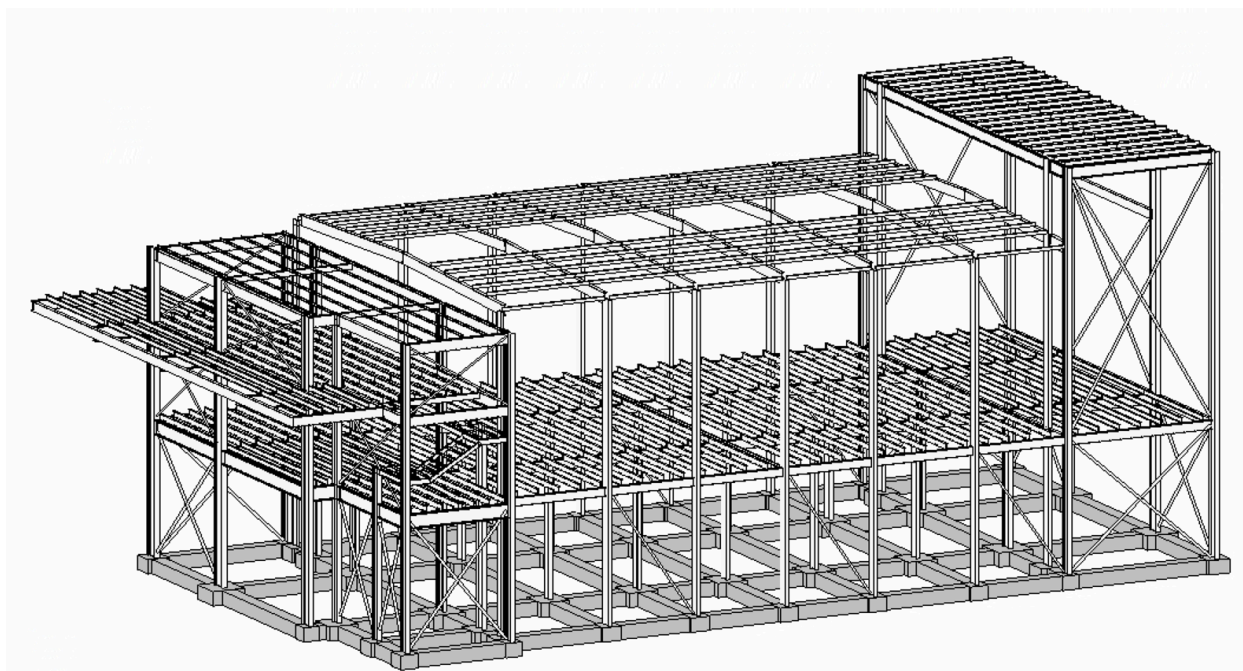


Ilustración 86 – Modelo final en Revit

4 CONCLUSIONES

En el presente capítulo se ha realizado un repaso acerca de los objetivos que se contemplaban para el proyecto actual y de los aspectos más importantes de éste. Finalmente se acaba con una breve opinión personal acerca de la metodología y del proceso que se ha realizado a lo largo de este trabajo.

Este TFG tenía como objetivo principal el modelado, cálculo y análisis de la estructura de una capilla situada en la ciudad de Sevilla a través de la metodología BIM y de los programas de su entorno. Se puede decir que se dicho fin se ha cumplido con éxito, dado que se ha realizado el modelado de la estructura mediante Revit, se ha hecho un estudio de las cargas con ayuda de las normativas pertinentes y, por último, se ha calculado la estructura a través del análisis realizado con Robot, lográndose, por tanto, que la estructura cumpla las exigencias que se imponían. Durante este proceso se ha tenido que modificar numerosas veces la estructura, haciendo falta incluso que se repitieran pasos que ya se habían dado por concluidos.

A parte de dicho motivo principal, se han alcanzado satisfactoriamente otros objetivos secundarios. Se ha descubierto el funcionamiento y magnitud de la metodología BIM, de la cual no se conocía nada anteriormente y de la que no se pretende dejar de aprender ya una vez que ha habido un comienzo en este mundo. Asimismo, se ha conseguido un nivel intermedio/alto de manejo del software Revit, sobretodo en la disciplina de estructuras, así como un nivel básico/intermedio del software Robot. También se ha conseguido hacer uso de los conocimientos que se han obtenido a lo largo del Grado en Tecnologías Industriales en la especialidad de Mecánica de Construcción, llegándolos a aumentar en algunos aspectos como es el del cálculo de las acciones sísmicas.

El proceso que se ha llevado a cabo en este proyecto ha supuesto numerosas horas, en las que se incluyen cursos de Revit Aquitecture, Revit Structure y Robot Structural Analysis.

A título personal puedo decir que he disfrutado de la experiencia de trabajar con el entorno BIM, donde destaco especialmente la etapa de modelado en Revit. Es en la que más tiempo he invertido, insistiendo mucho en llegar a la perfección para evitar errores en el momento de la exportación a Robot. Además, de los dos softwares utilizados es el que más completo me ha parecido o, por lo menos, el que menos errores he encontrado. Robot, pese a ser un software muy completo también, tiene aspectos que me han dado la impresión de tener todavía ciertas limitaciones. Entre esos aspectos destaco las normativas que no estaban vigentes o un sistema operativo que tiene una apariencia y unas herramientas que al lado de Revit parecen más rústicas o anticuadas. No obstante, estas críticas son de una exigencia demasiado elevada. Ambos softwares son muy potentes y, como se ha dicho en repetidas ocasiones durante el trabajo, aporta un ahorro sustancial de tiempo que a nivel empresarial proporciona muchísimas ventajas.

Por último, quiero destacar la satisfacción que me llena el haber conseguido realizar este proyecto. Pensando en todo lo que he aprendido, me llevo una gran experiencia que no solo me ha servido a nivel profesional, sino que también a nivel personal. Sin duda alguna seguiré ampliando mis conocimientos acerca de la metodología BIM y de los programas de su entorno.

5 REFERENCIAS

- Libro: Estructuras de Acero con Autodesk Robot Structural Analysis 2016, Carlos Enrique Villarroel Bejarano
- Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional, Autodesk
- Robot Structural Analysis – From design to calculation, Safet Iska, Autodesk University
- TFG: Modelización y cálculo de un edificio de hormigón con programas del entorno BIM, Javier Bentué Bueno, Universidad de Zaragoza
- TFG: Proyecto estructural de un hangar para el mantenimiento de aviones, José Daniel Andrades del Águila, Universidad de Sevilla
- WEB: <http://www.carreteros.org/normativa/estructuras/iap2011/apartados/6.htm>
- WEB: <https://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2019/ENU/>
- WEB: <https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2012/04/vigas-riostras-o-de-atado-de-cimientos.html>
- WEB: <http://www.espacioleanbim.com/episodio-10-efecto-del-bim-las-fases-del-ciclo-vida-proyecto/>
- WEB: <https://www.deustoformacion.com/blog/disenio-arquitectonico/etapas-capacidad-bim>
- WEB: <https://www.domestika.org/es/courses/1196-diseno-y-modelado-arquitectonico-3d-con-revit>
- WEB: <https://bimlearning.es/cursos-revit/curso-revit-structure-online/>
- WEB: <https://www.udemy.com/course/aprende-robot-structural-analysis-professional/>

Trabajo Fin de Grado
Ingeniería de Tecnologías Industriales

PARTE IV: PLANOS

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Autor: Antonio Pineda Márquez

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Miguel Ángel López López

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Departamento de
Ingeniería Gráfica ETSI

Índice de planos

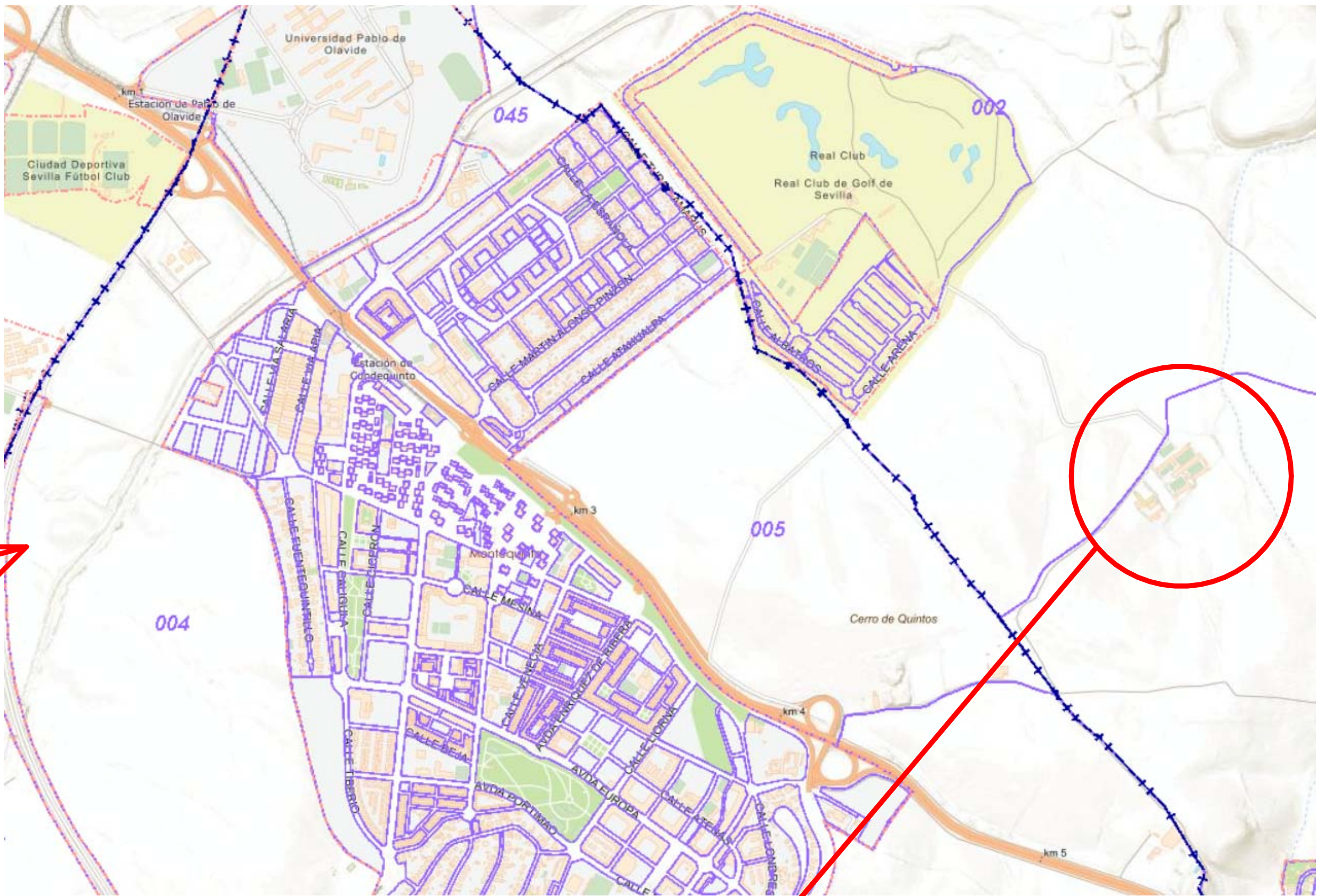
- P-01 Localización y emplazamiento
- P-02 Vista en Planta
- P-03 Alzados Norte y Sur
- P-04 Alzados Este y Oeste
- P-05 Acotación Planta Acceso
- P-06 Distribución Planta Acceso
- P-07 Vistas Plantas Coro
- P-08 Sección 1
- P-09 Sección 2
- P-10 Distribución de Pilares
- P-11 Pórticos A0.1 y A0.2
- P-12 Pórticos A0.4 y A7
- P-13 Pórticos A13 y A14
- P-14 Alzados Norte y Sur
- P-15 Alzados Este y Oeste
- P-16 Cubiertas Zonas 2 y 3
- P-17 Cubierta Zona 1 y Planta Coro
- P-18 Planta Acceso
- P-19 Cimentación



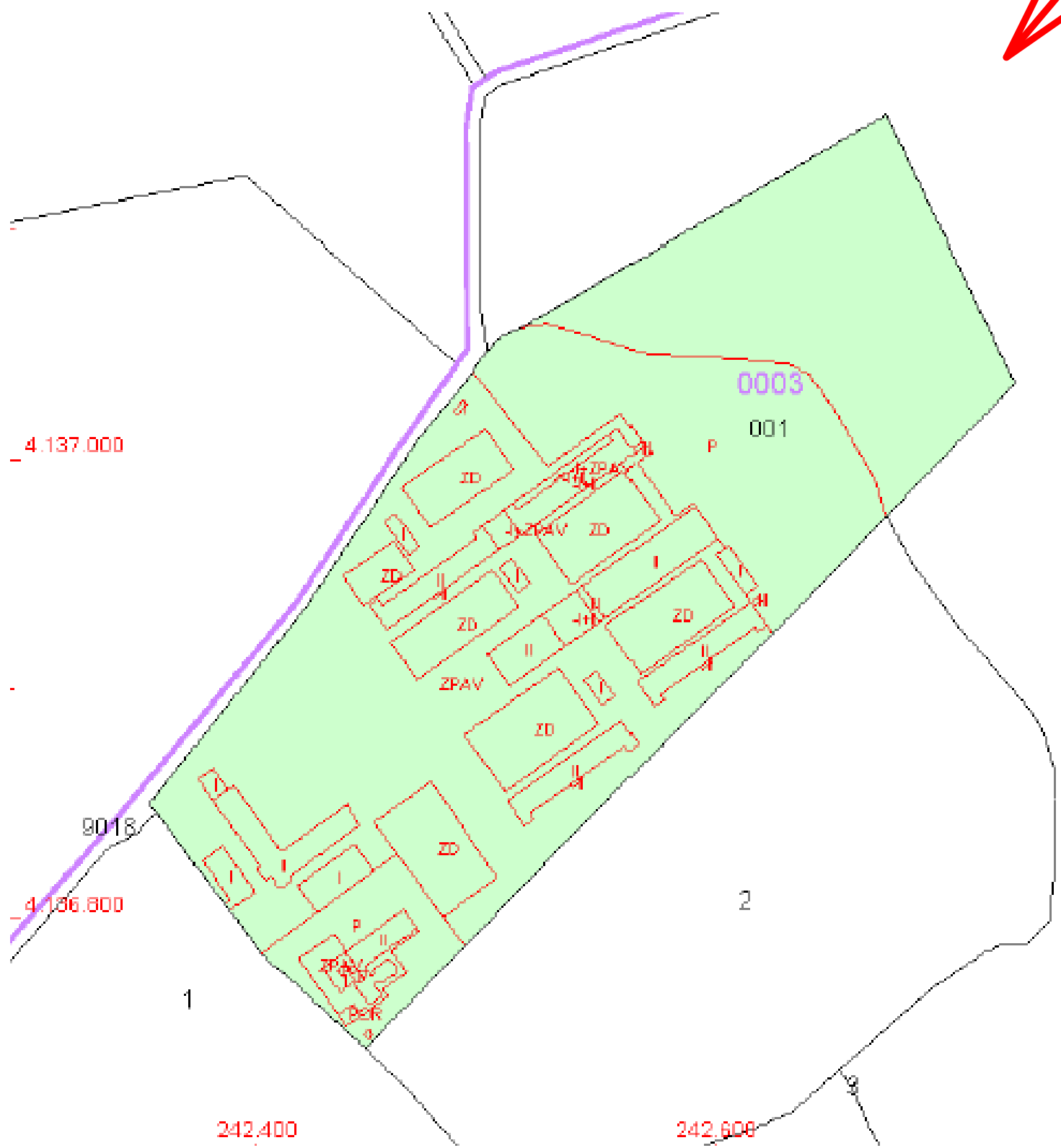
Sevilla





Parcela de Highlands



Montequinto





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capila mediante metodología BIM

Localización y emplazamiento

Autor

Antonio Pineda Márquez

Titulación

GITI

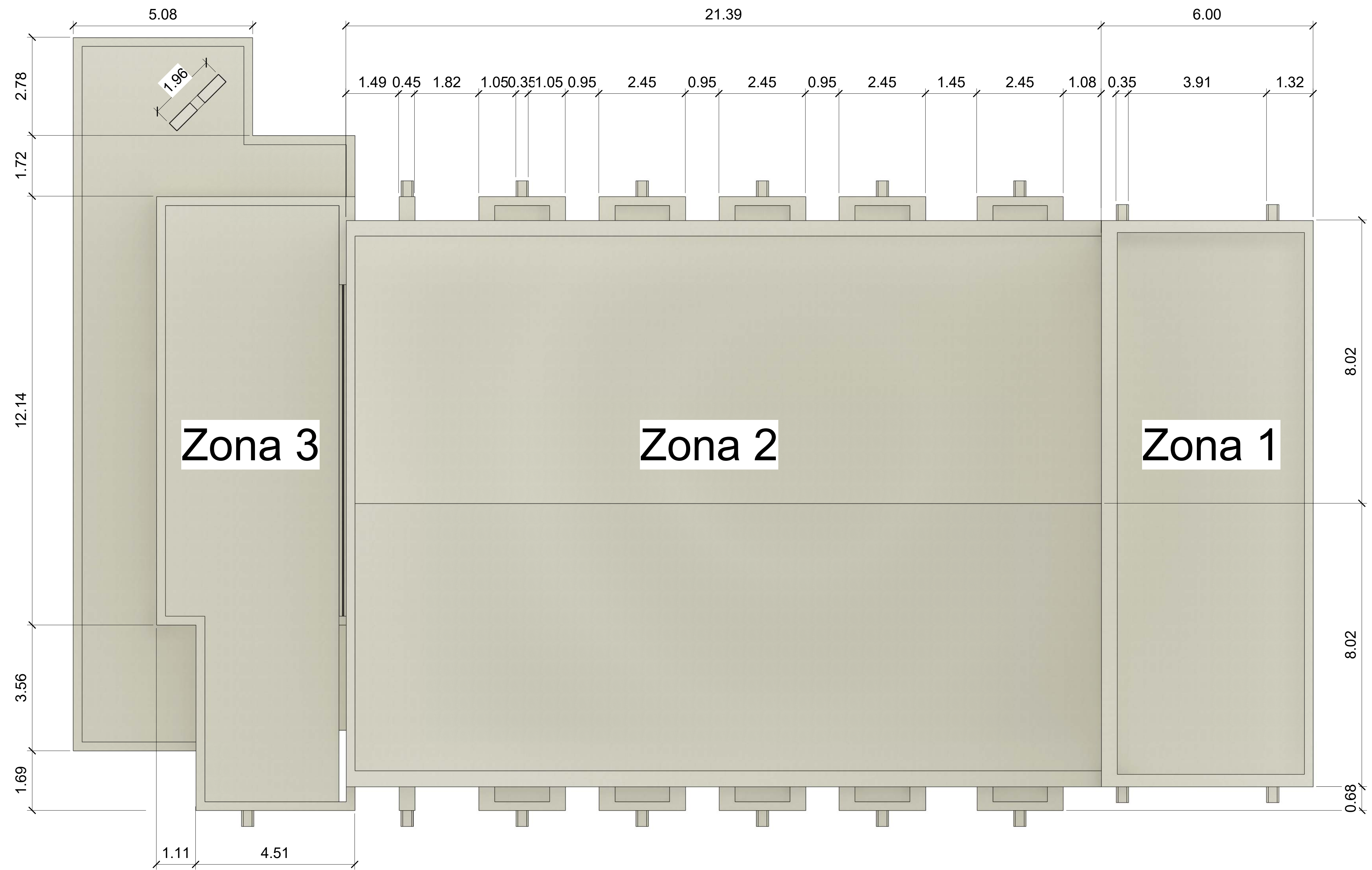
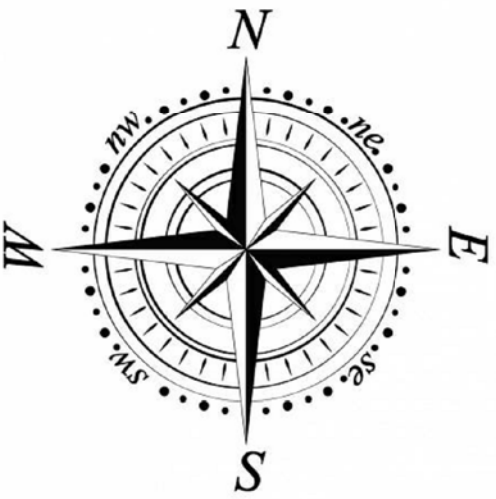
Curso

2020/2021

P-01

Escala

1	Vista en Planta
P-02	1 : 60



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Vista en Planta

Autor
Antonio Pineda Márquez

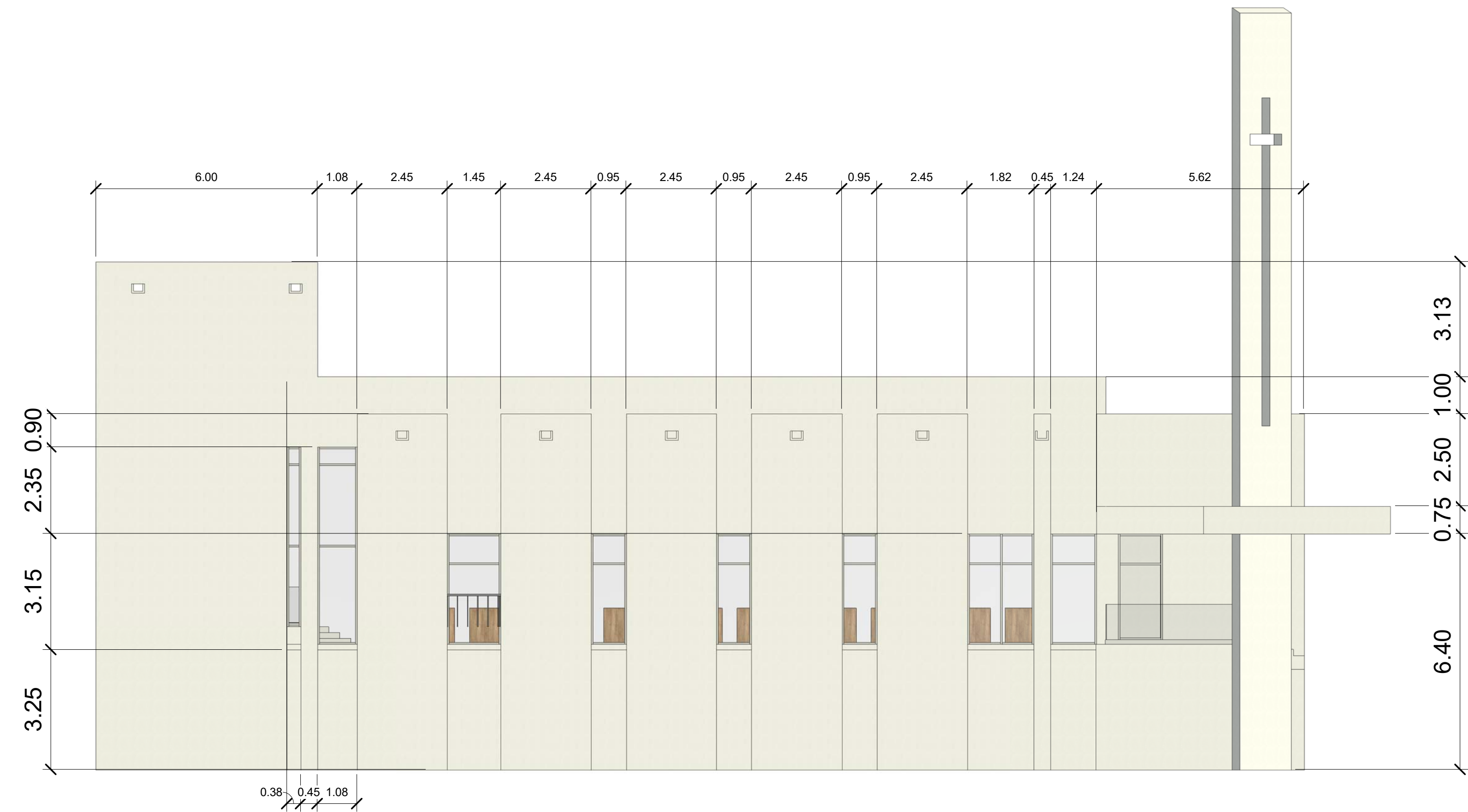
Titulación
GITI

Curso
2020/2021

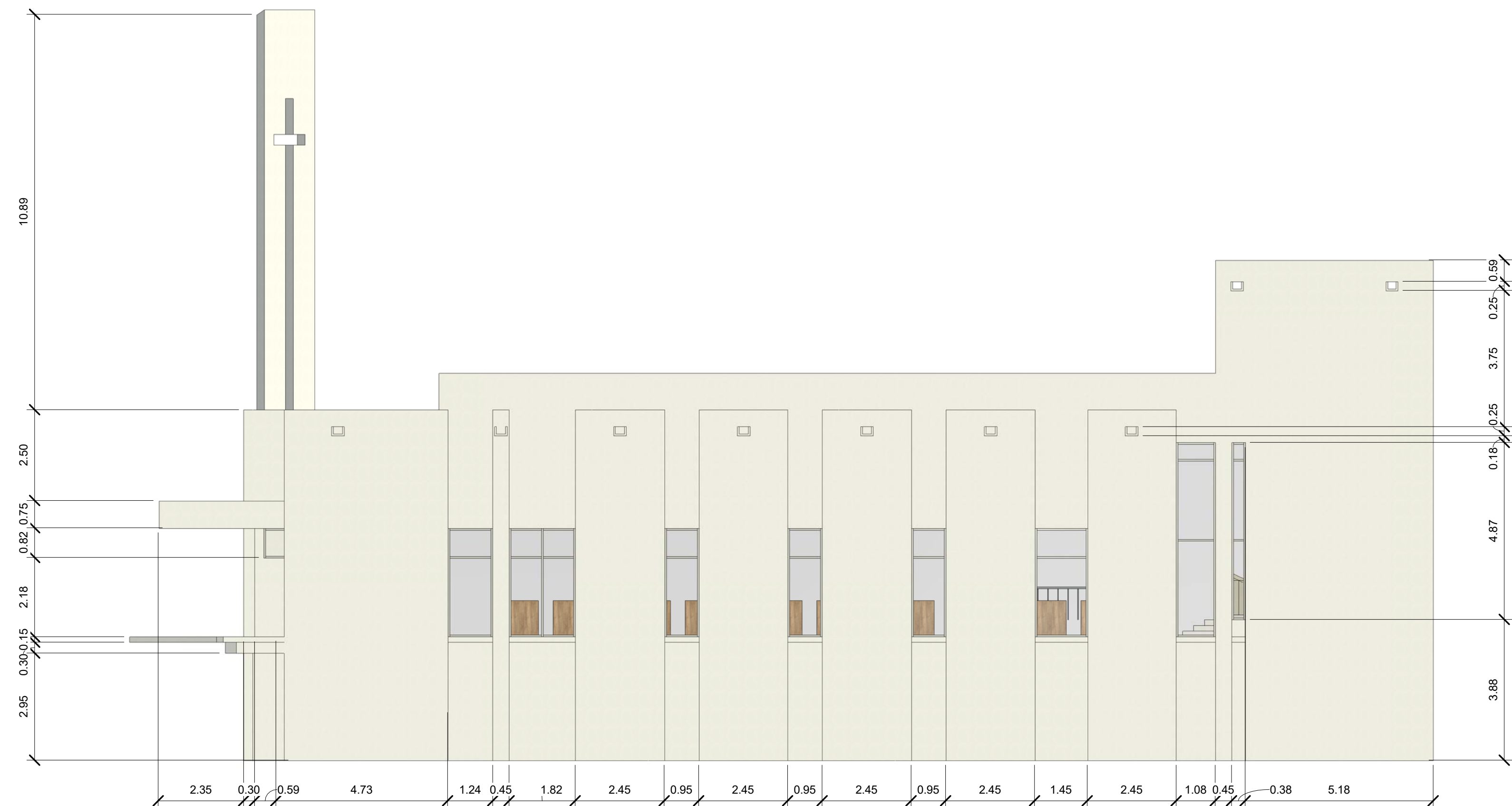
P-02

Escala
1 : 60

1	<u>Alzado Norte</u>
P-03	1 : 90



2	<u>Alzado Sur</u>
P-03	1 : 90



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Alzados Norte y
Sur

Autor
Antonio Pineda Márquez

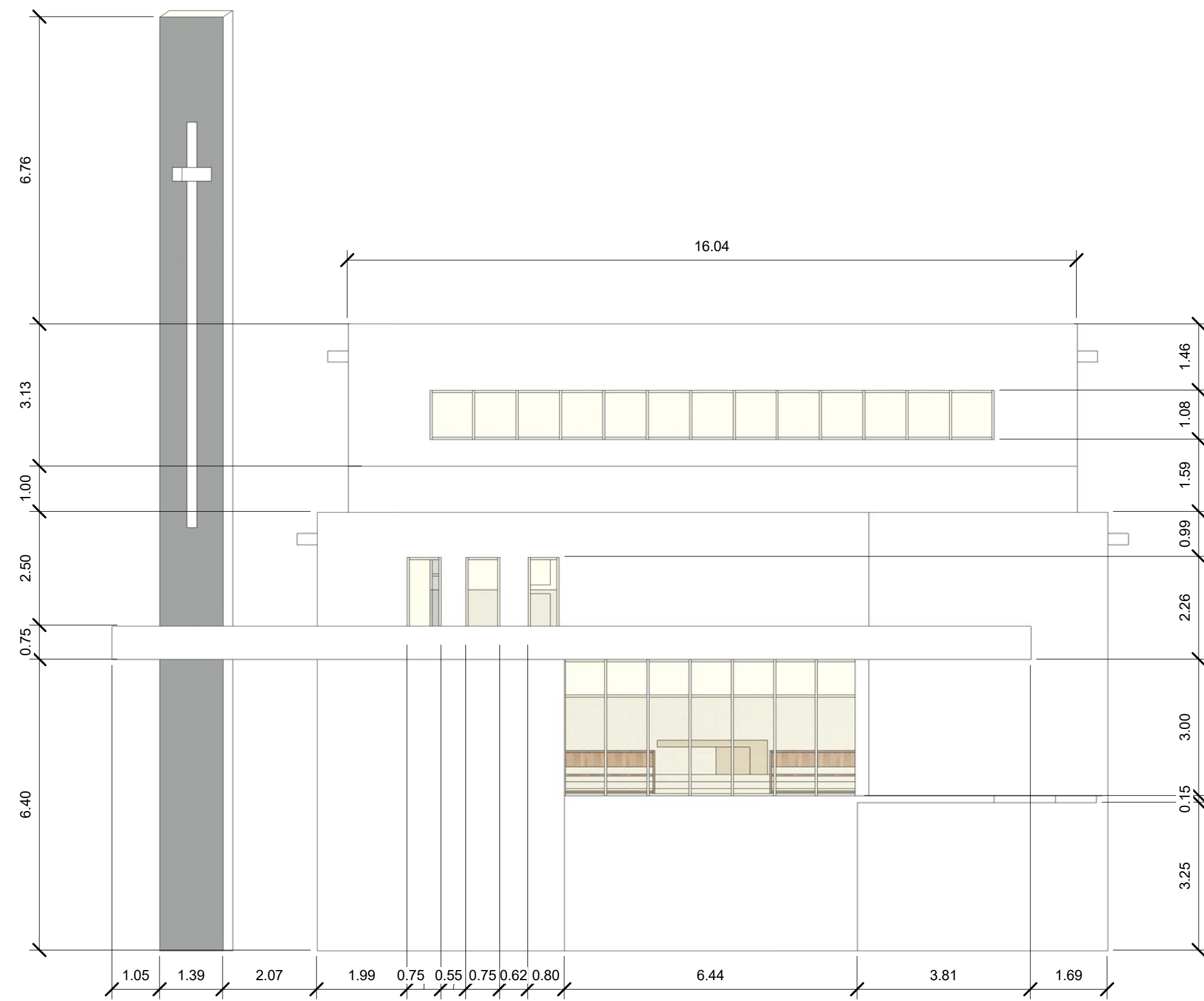
Titulación
GITI

Curso
2020/2021

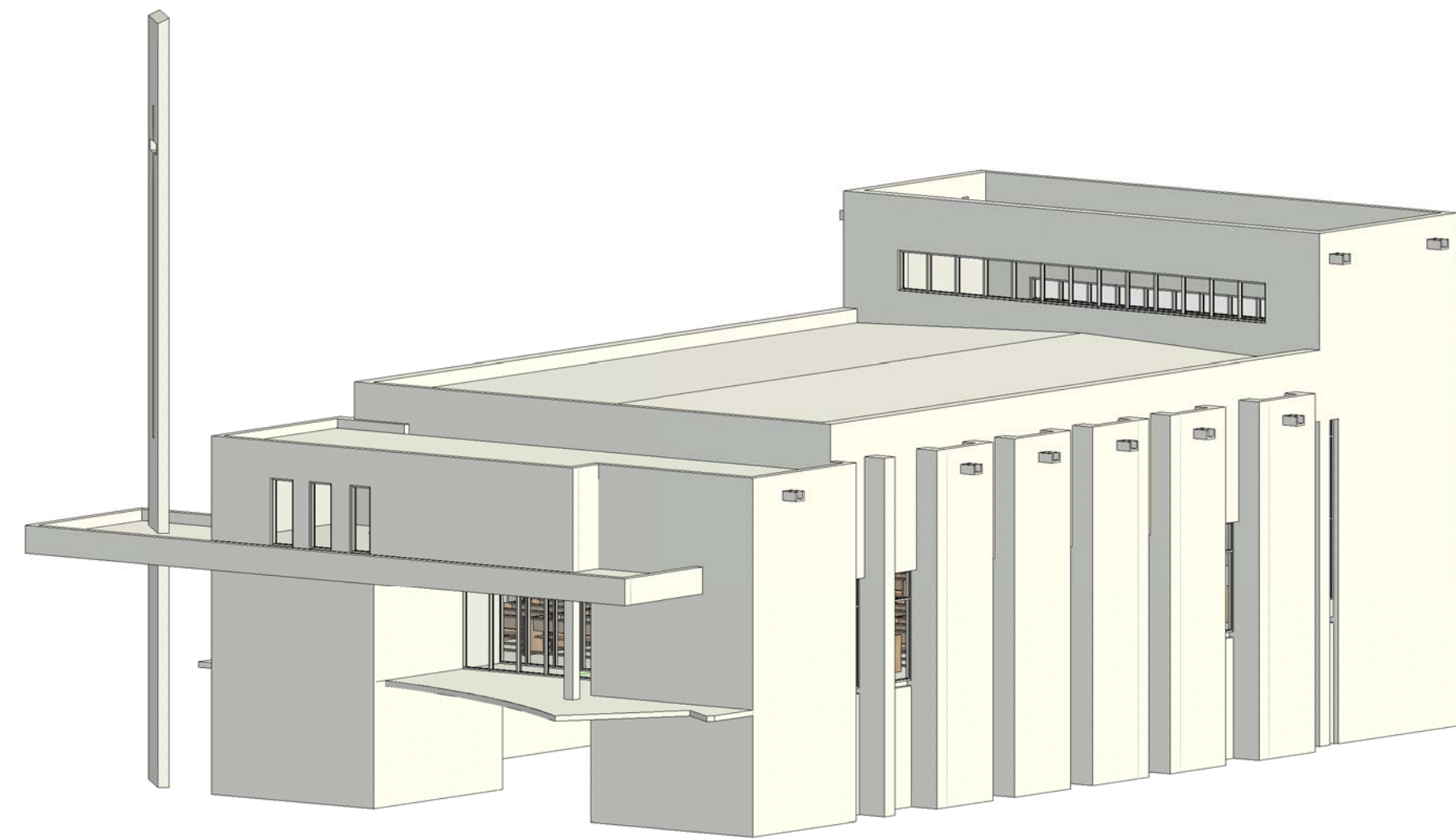
P-03

Escala
1 : 90

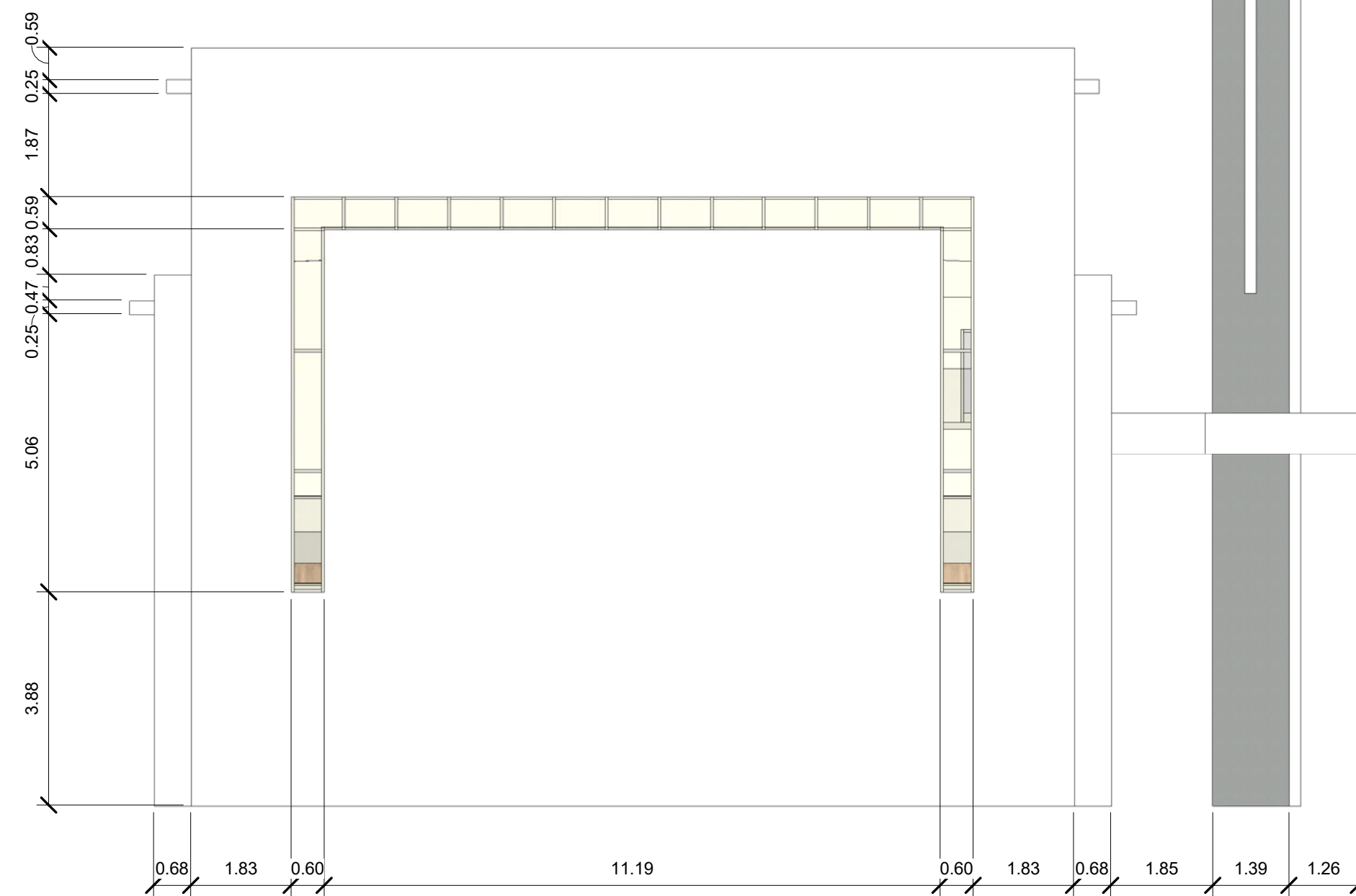
2 Alzado Oeste
P-04 1 : 90



3 3D Arquitectura
P-04



1 Alzado Este
P-04 1 : 90



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Alzados Este y
Oeste

Autor
Antonio Pineda Márquez

Titulación GITI

Curso 2020/2021

P-04

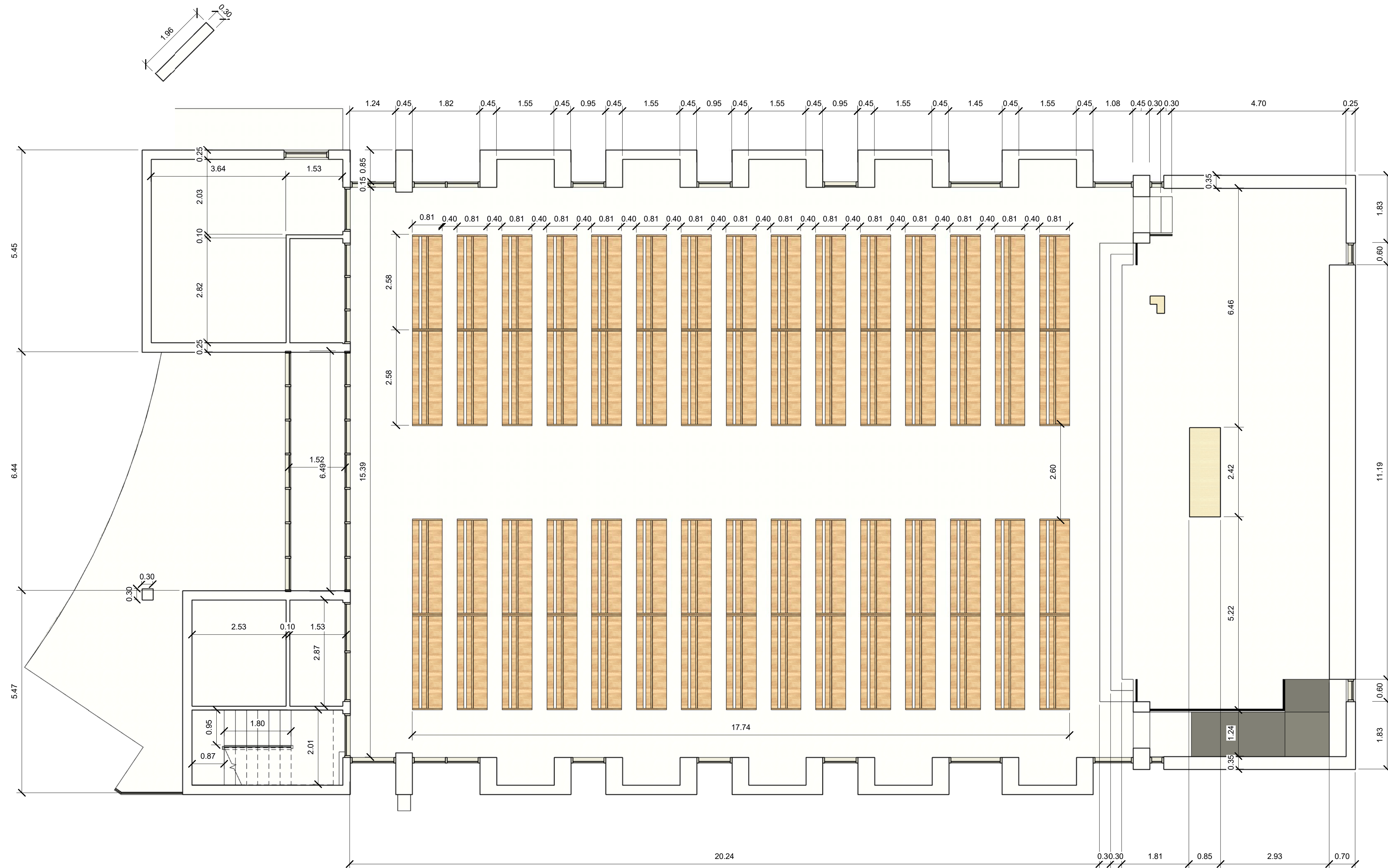
Escala 1 : 90


1

P-05

Acotación Planta Acceso

1 : 60





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Acotación Planta Acceso

Autor

Antonio Pineda Márquez

Titulación

GITI

Curso

2020/2021

P-05

Escala

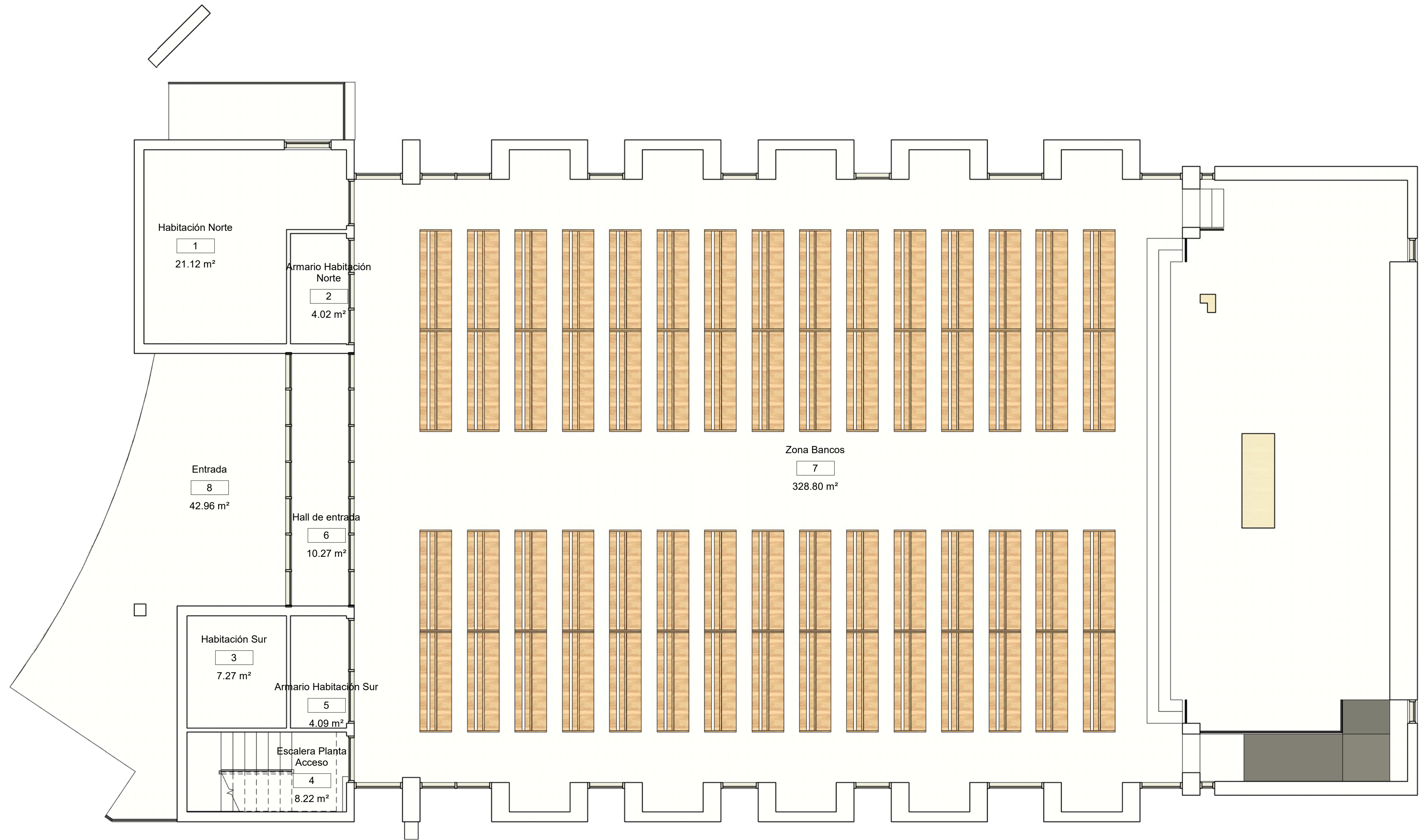
1 : 60


1

P-06

Distribución Planta Acceso

1 : 60





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Distribución
Planta Acceso

Autor
Antonio Pineda Márquez

Titulación
GITI

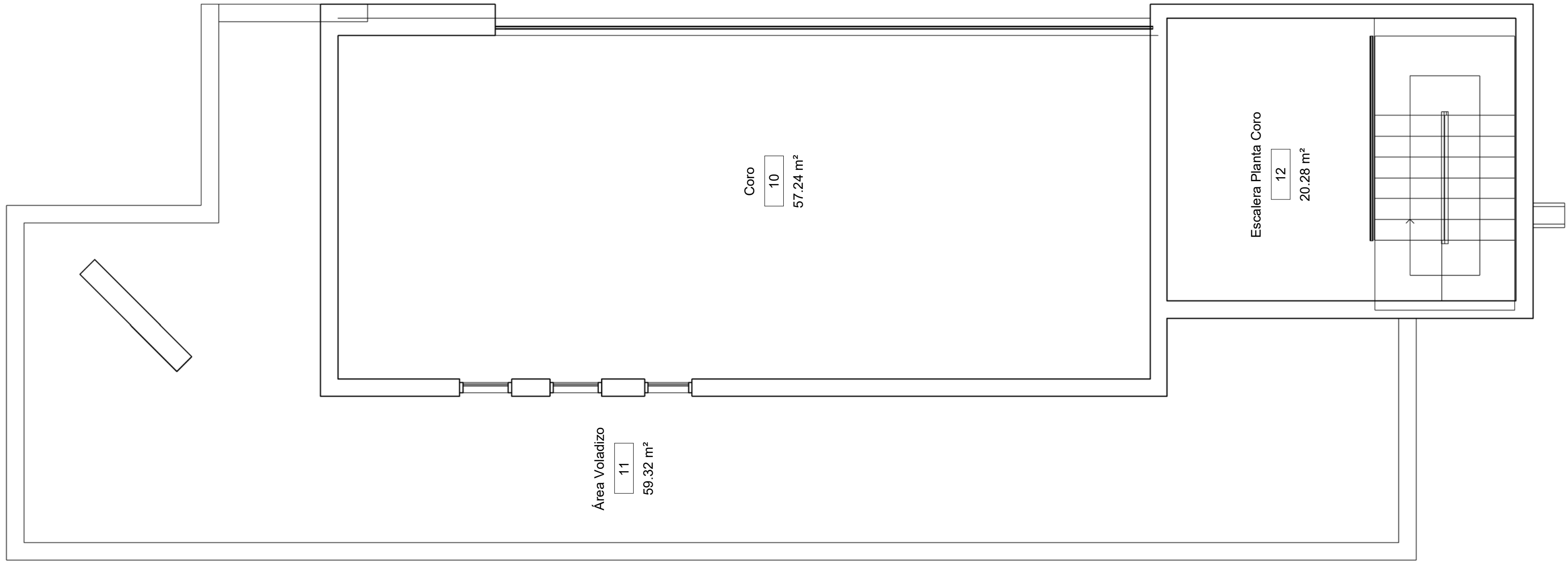
Curso
2020/2021

P-06

Escala
1 : 60

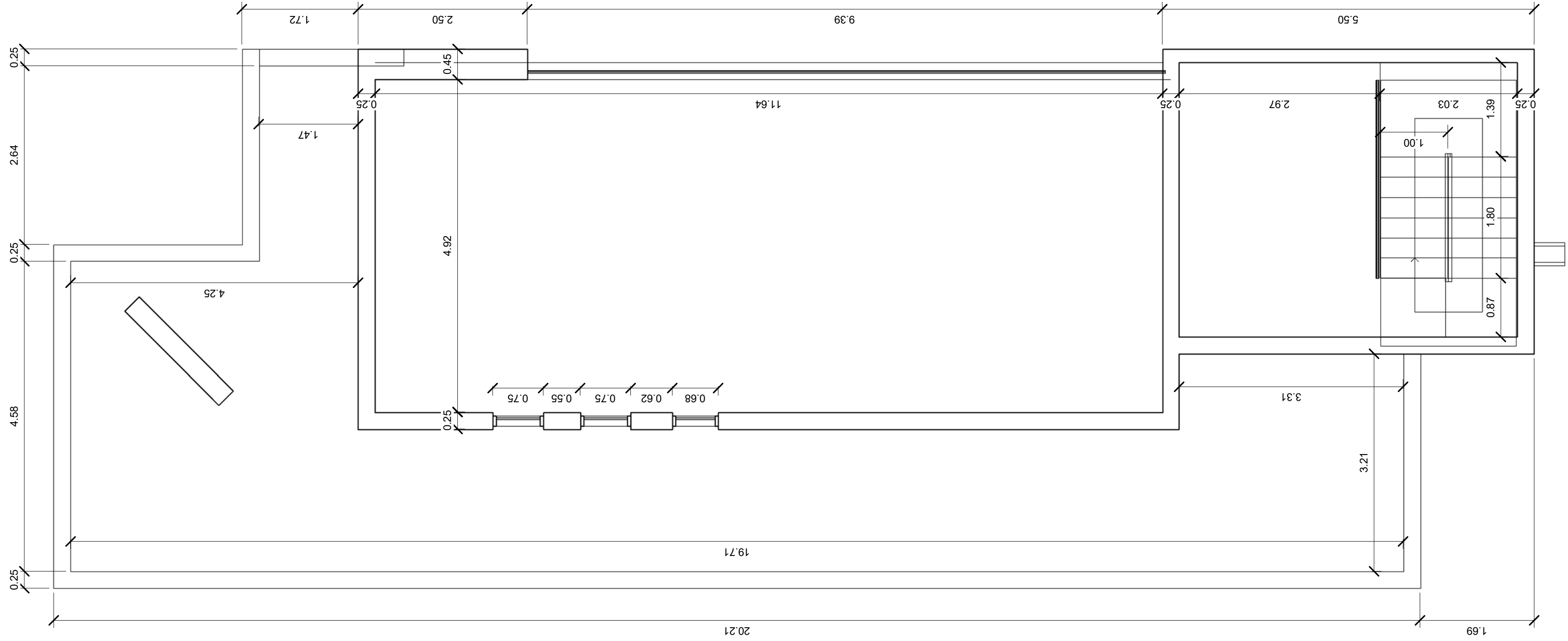
2 Distribución Planta Coro

P-07 1 : 45



1 Acotación Planta Coro

P-07 1 : 45



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Vistas Planta Coro

Autor
Antonio Pineda Márquez

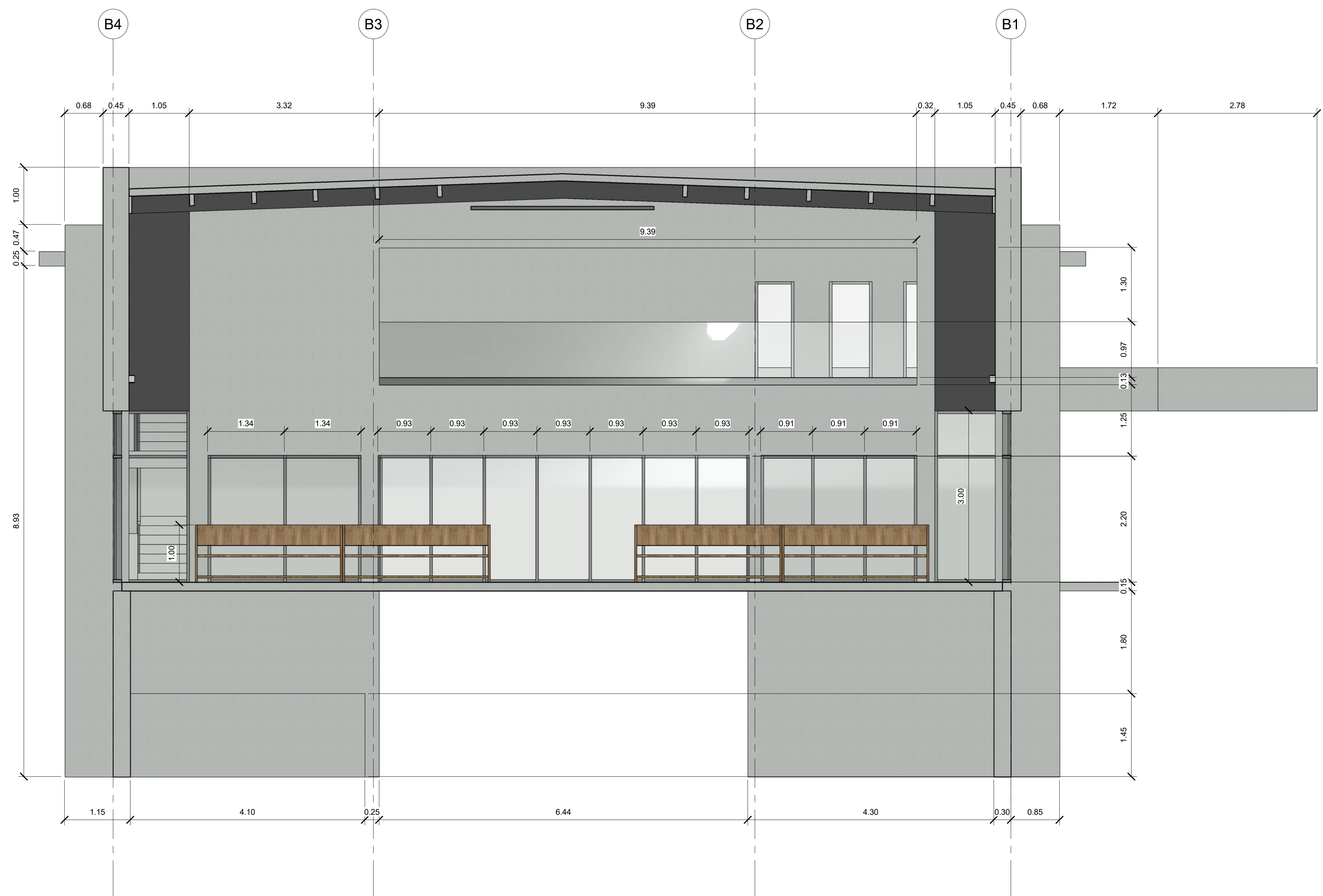
Titulación
GITI

Curso
2020/2021

P-07

Escala
1 : 45

1 **Sección 1**
P-08 1 : 40



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Sección 1

Autor
Antonio Pineda Márquez

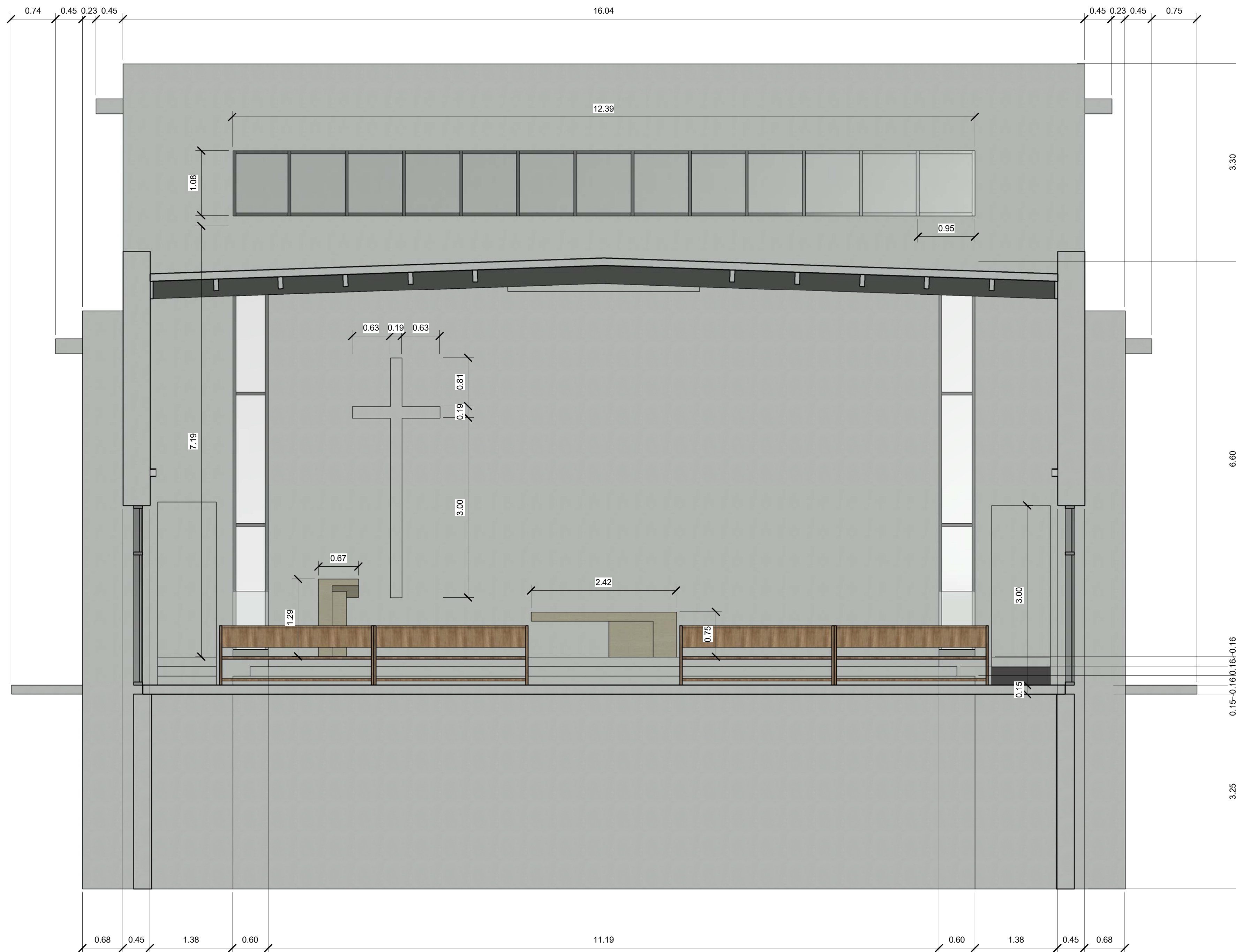
Titulación GITI

Curso 2020/2021

P-08

Escala 1 : 40

1	Sección 2
P-09	1 : 40



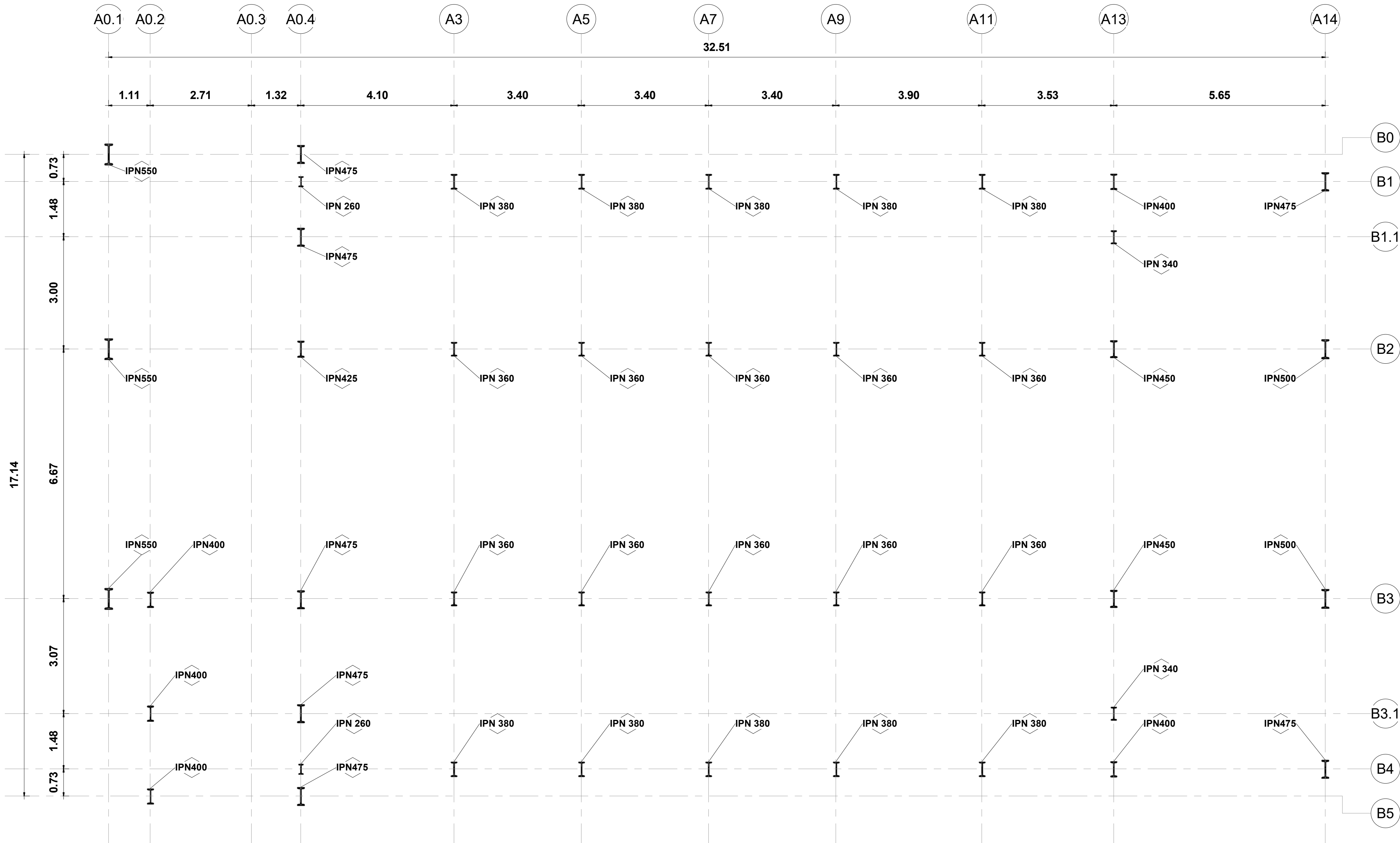
Trabajo de Fin de Grado	
Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM	
Sección 2	
Autor	Antonio Pineda Márquez
Titulación	GITI
Curso	2020/2021
P-09	
Escala	1 : 40


1

Distribución de Pilares

P-10

1 : 60





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Distribución de Pilares

Autor

Antonio Pineda Márquez

Titulación

GITI

Curso

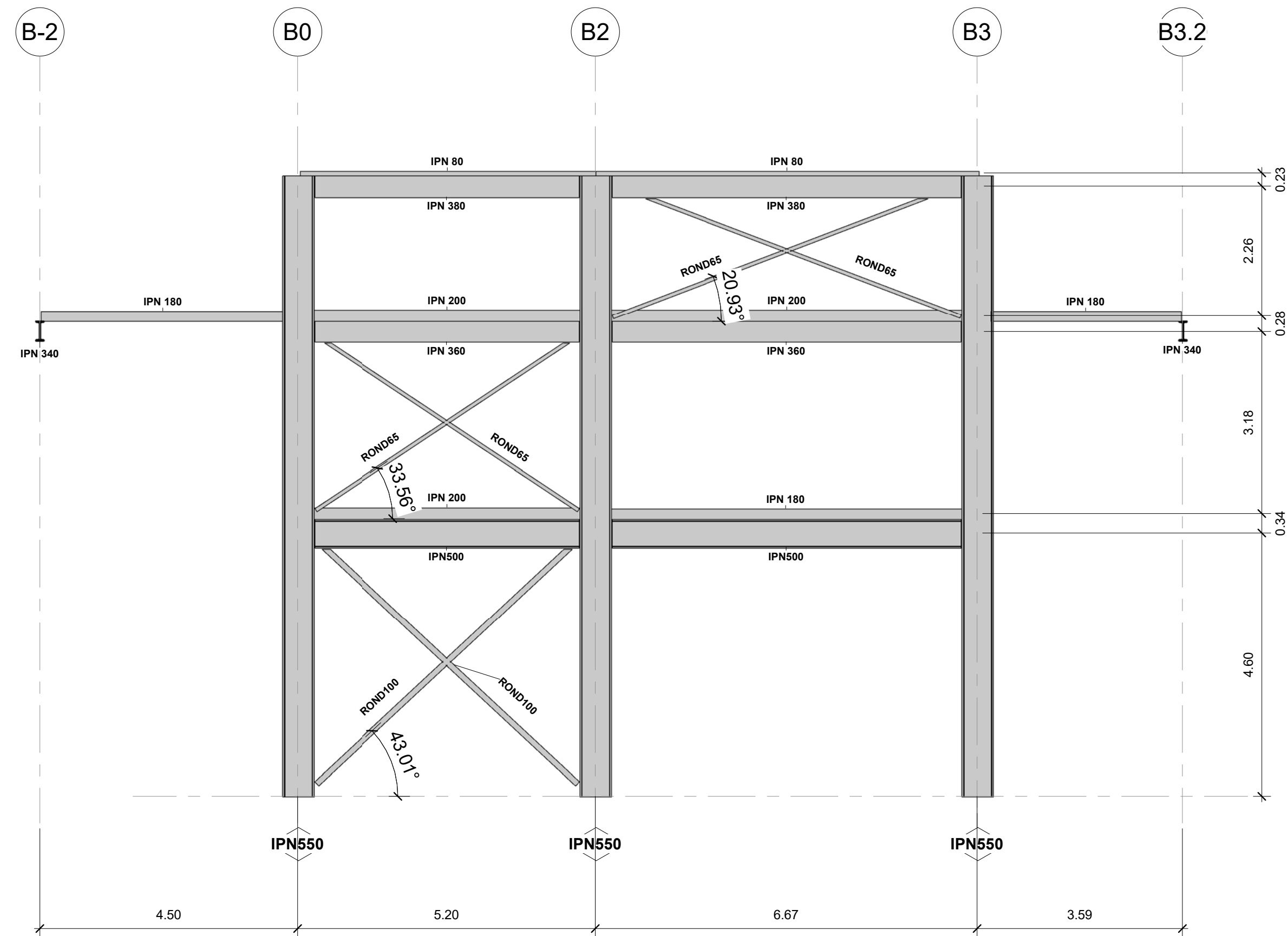
2020/2021

P-10

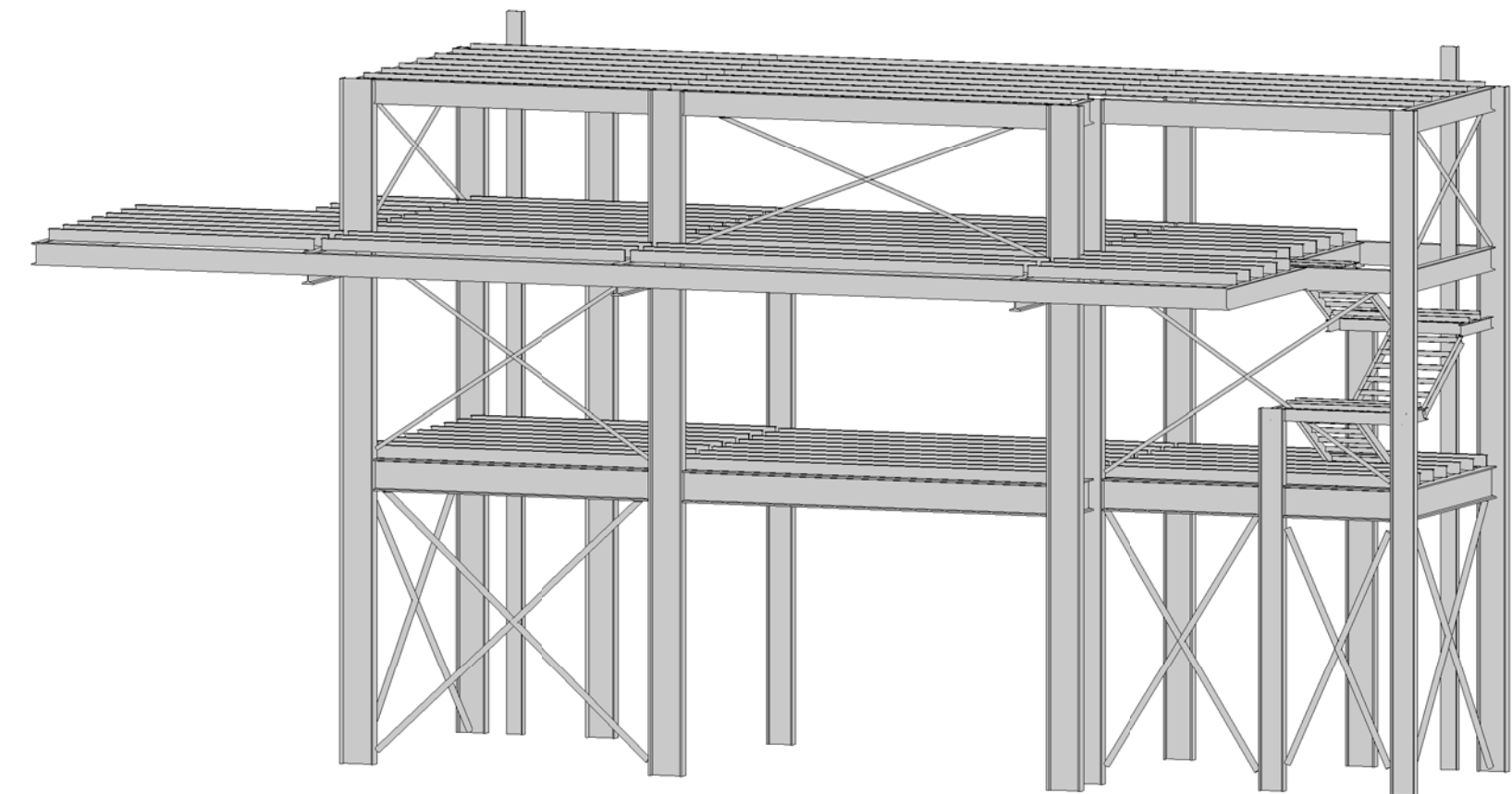
Escala

1 : 60

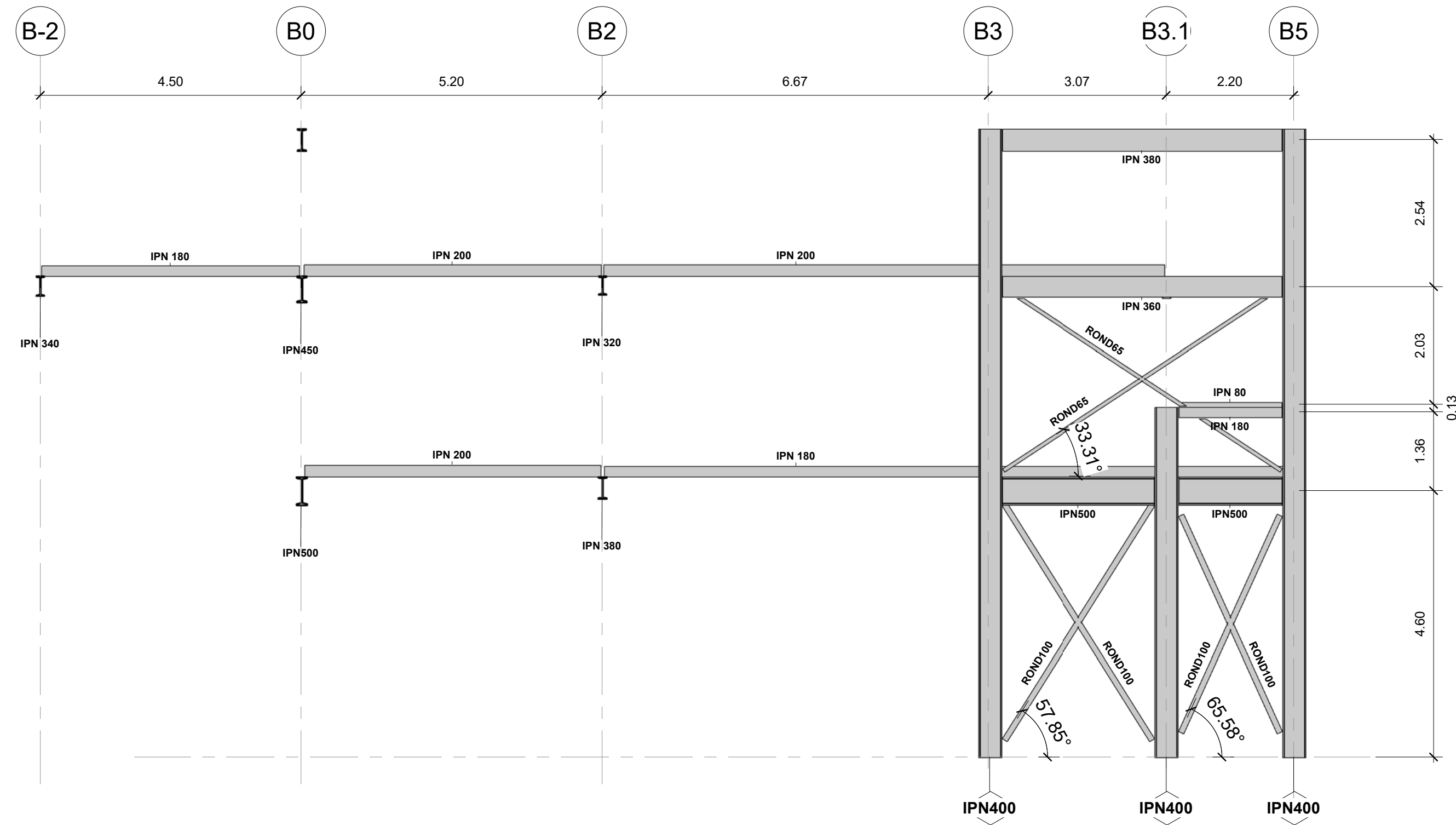
1 Pórtico A0.1
P-11 1 : 65



3 3D Zona 3
P-11



2 Pórtico A0.2
P-11 1 : 65



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Pórticos A0.1 y
A0.2

Autor
Antonio Pineda Márquez

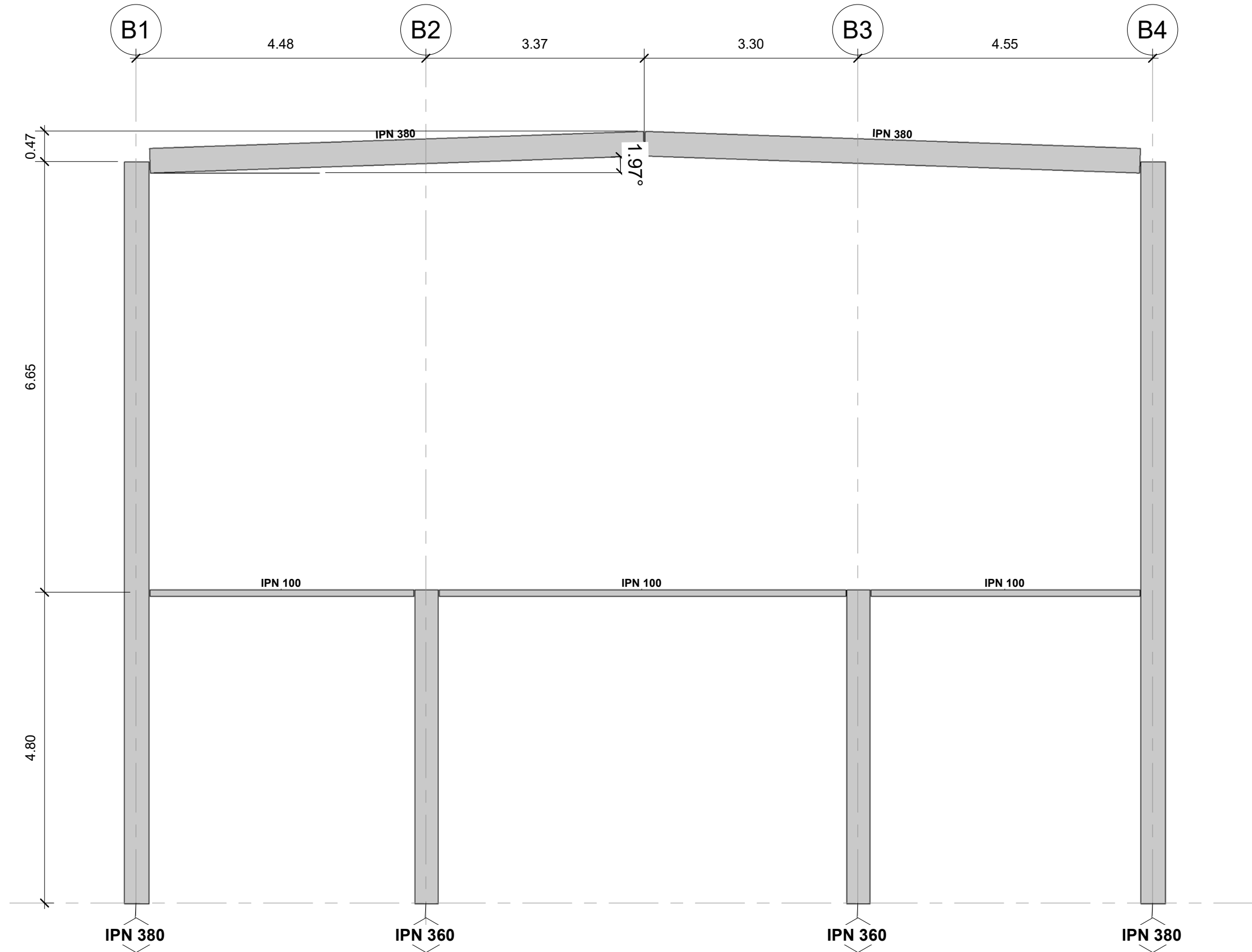
Titulación GITI

Curso 2020/2021

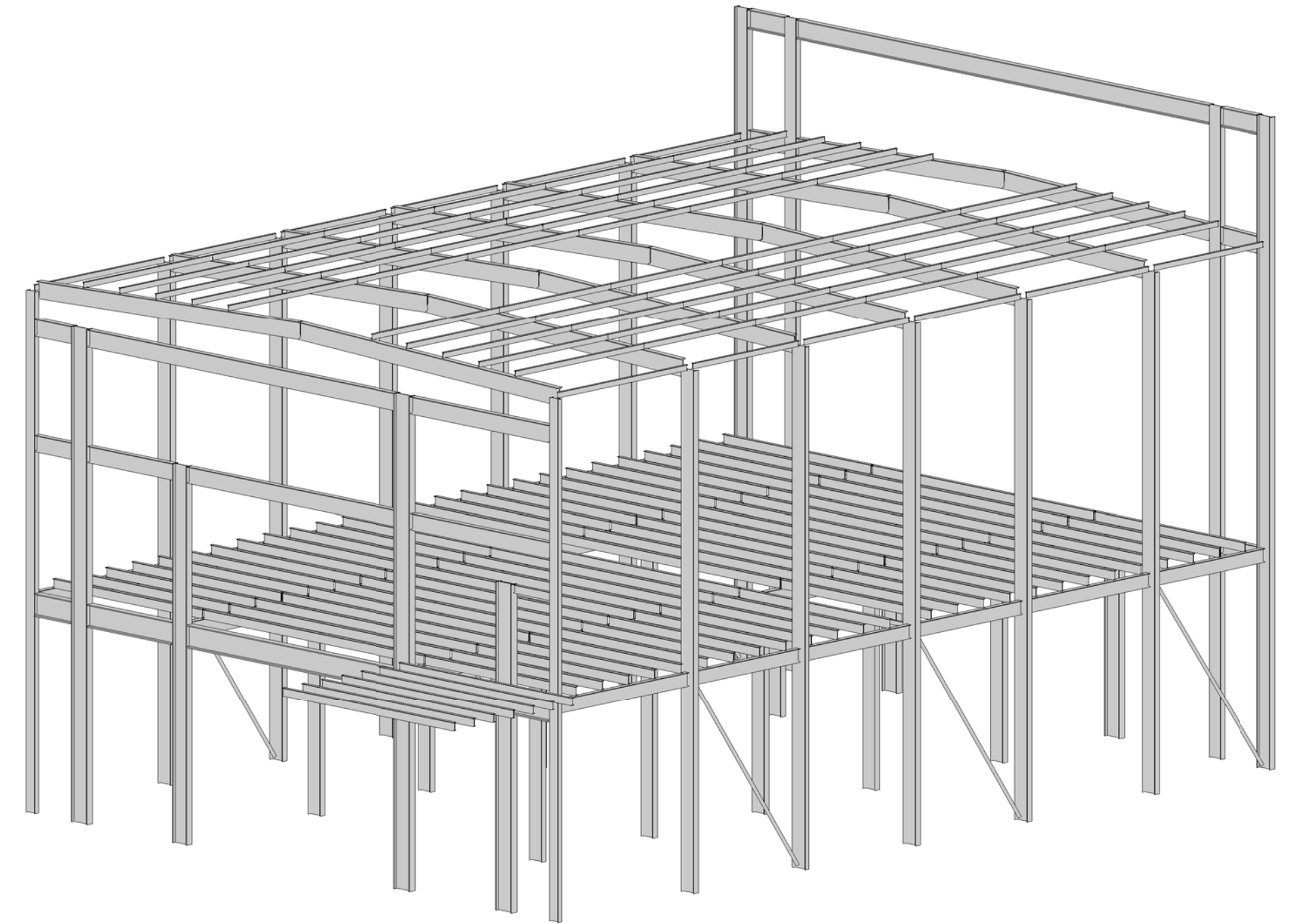
P-11

Escala 1 : 65

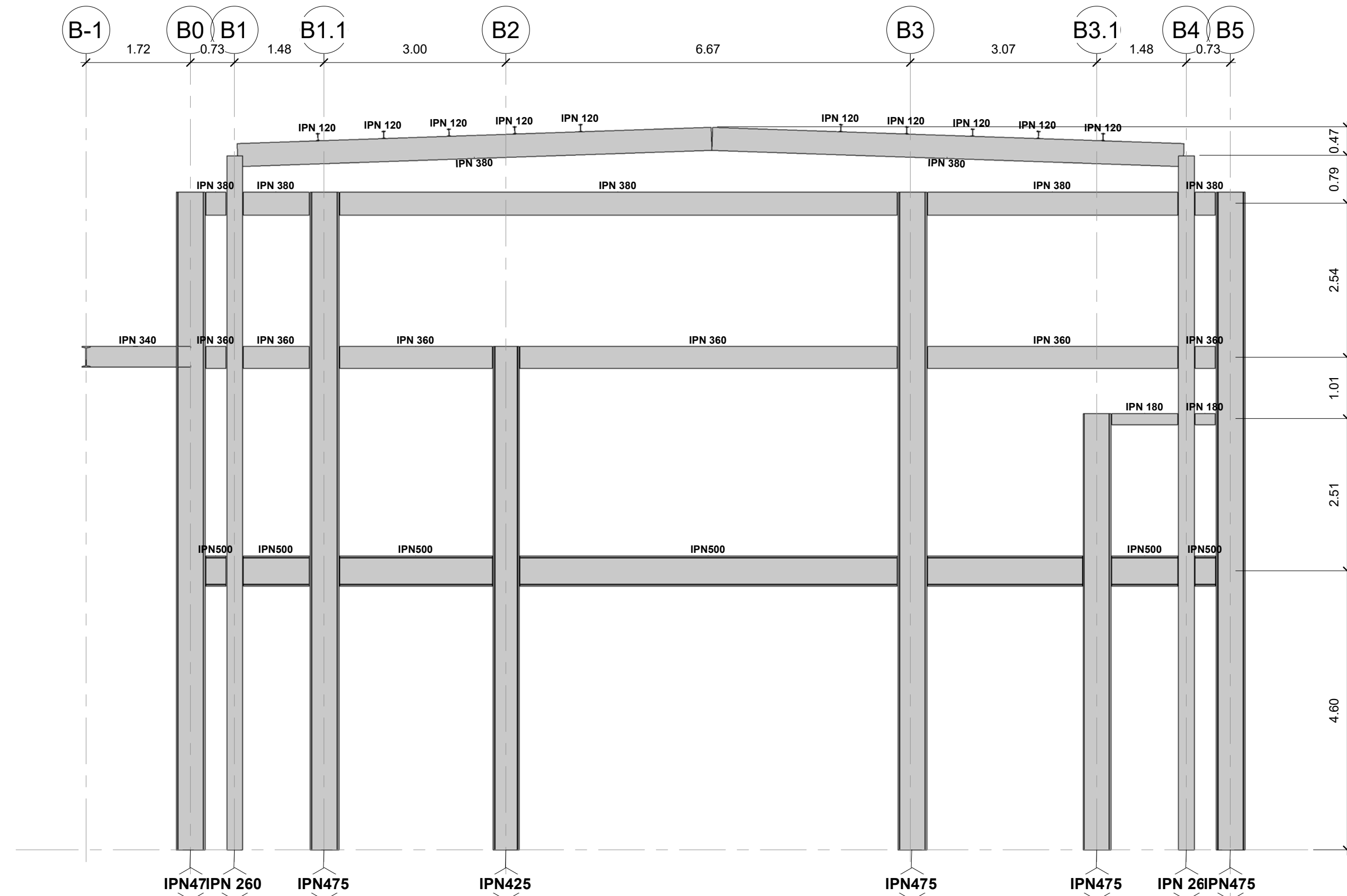
2 **Pórtico A7**
P-12 1 : 60



3 **3D Zona 2**
P-12



1 **Pórtico A0.4**
P-12 1 : 60



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

**Pórticos A0.4 y
A7**

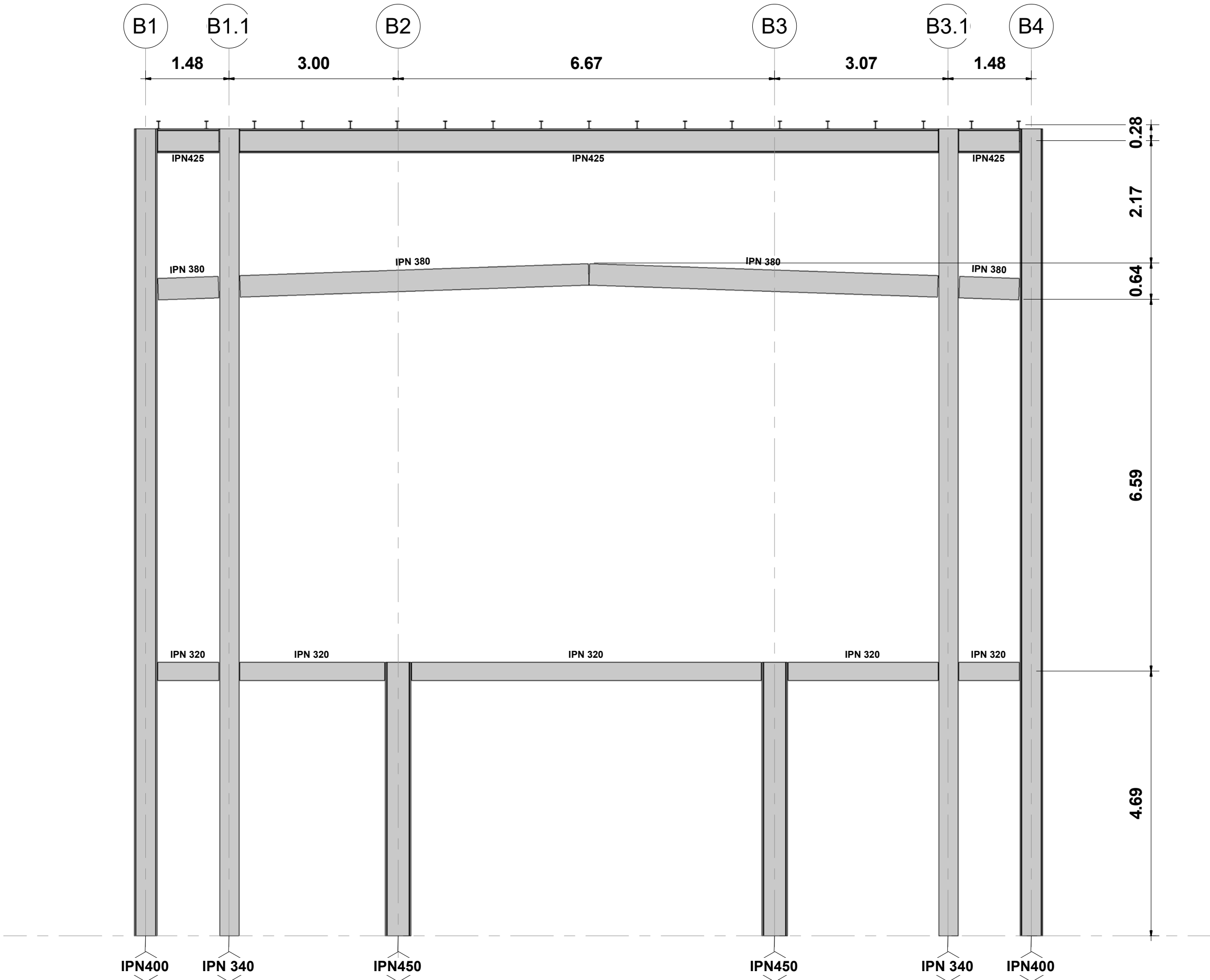
Autor
Antonio Pineda Márquez

Titulación GITI

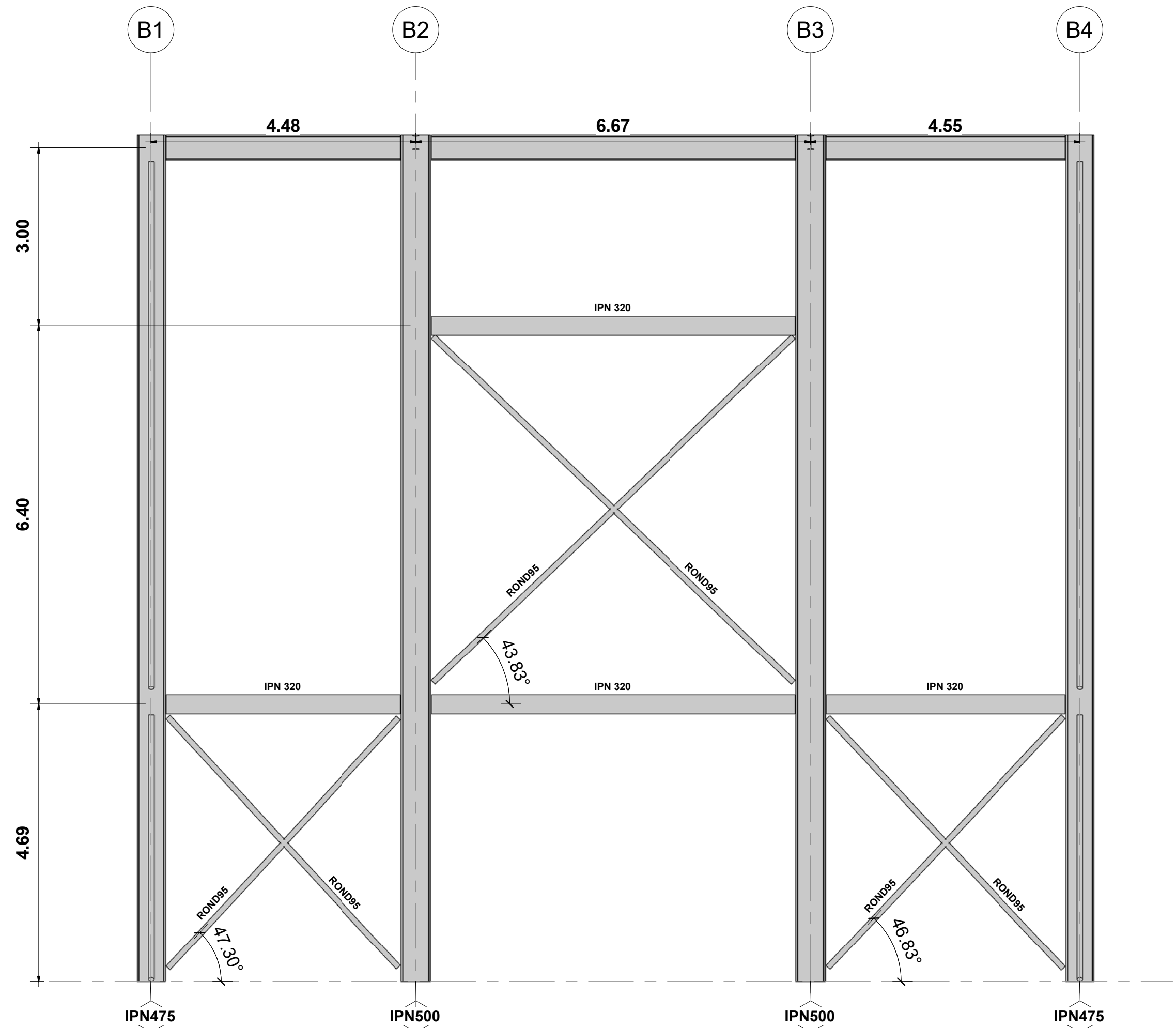
Curso 2020/2021

P-12

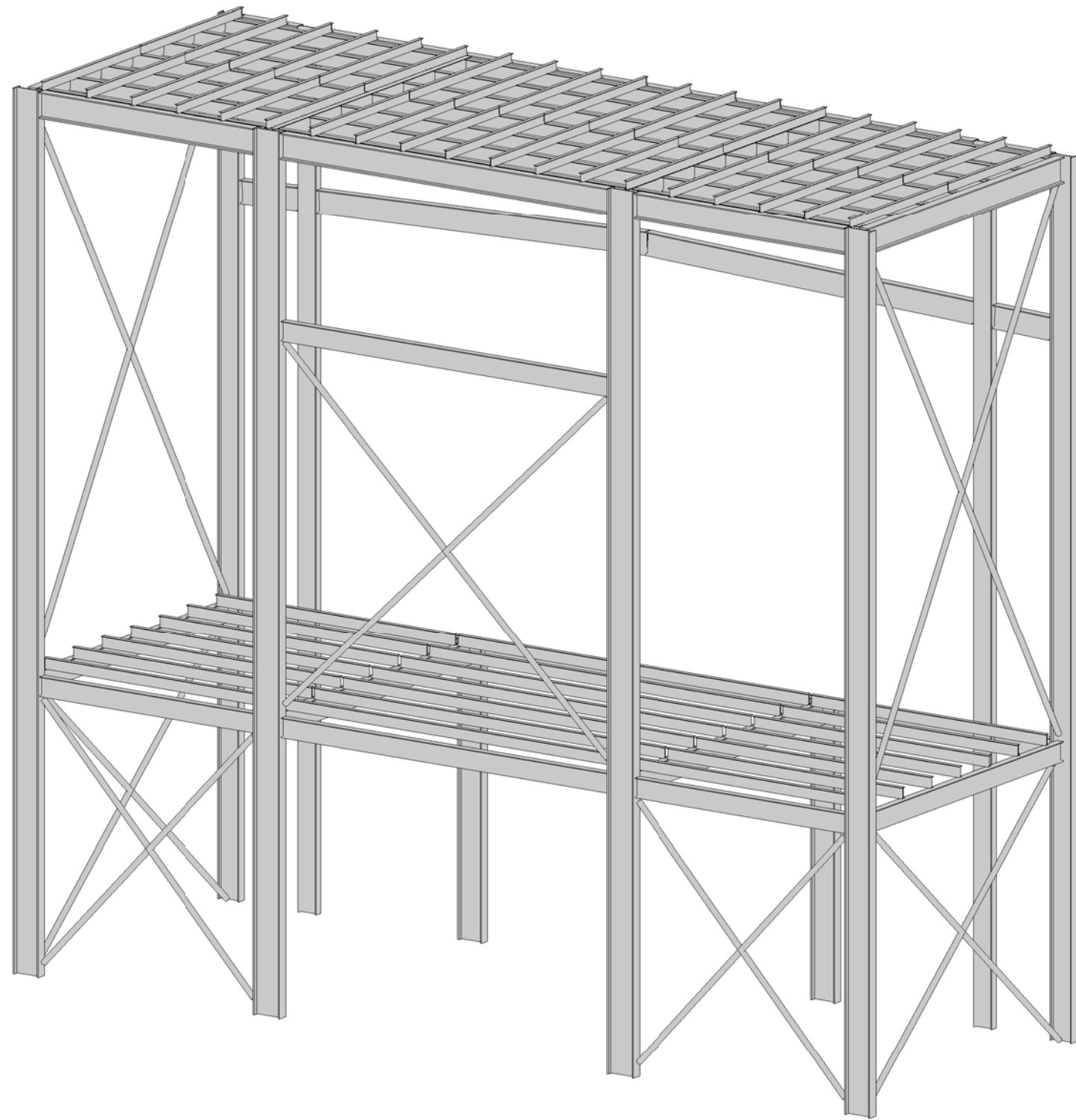
Escala 1 : 60



1 Pórtico A13
P-13 1 : 60



2 Pórtico A14
P-13 1 : 60



3 3D Zona 1
P-13



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Pórticos A13 y A14

Autor
Antonio Pineda Márquez

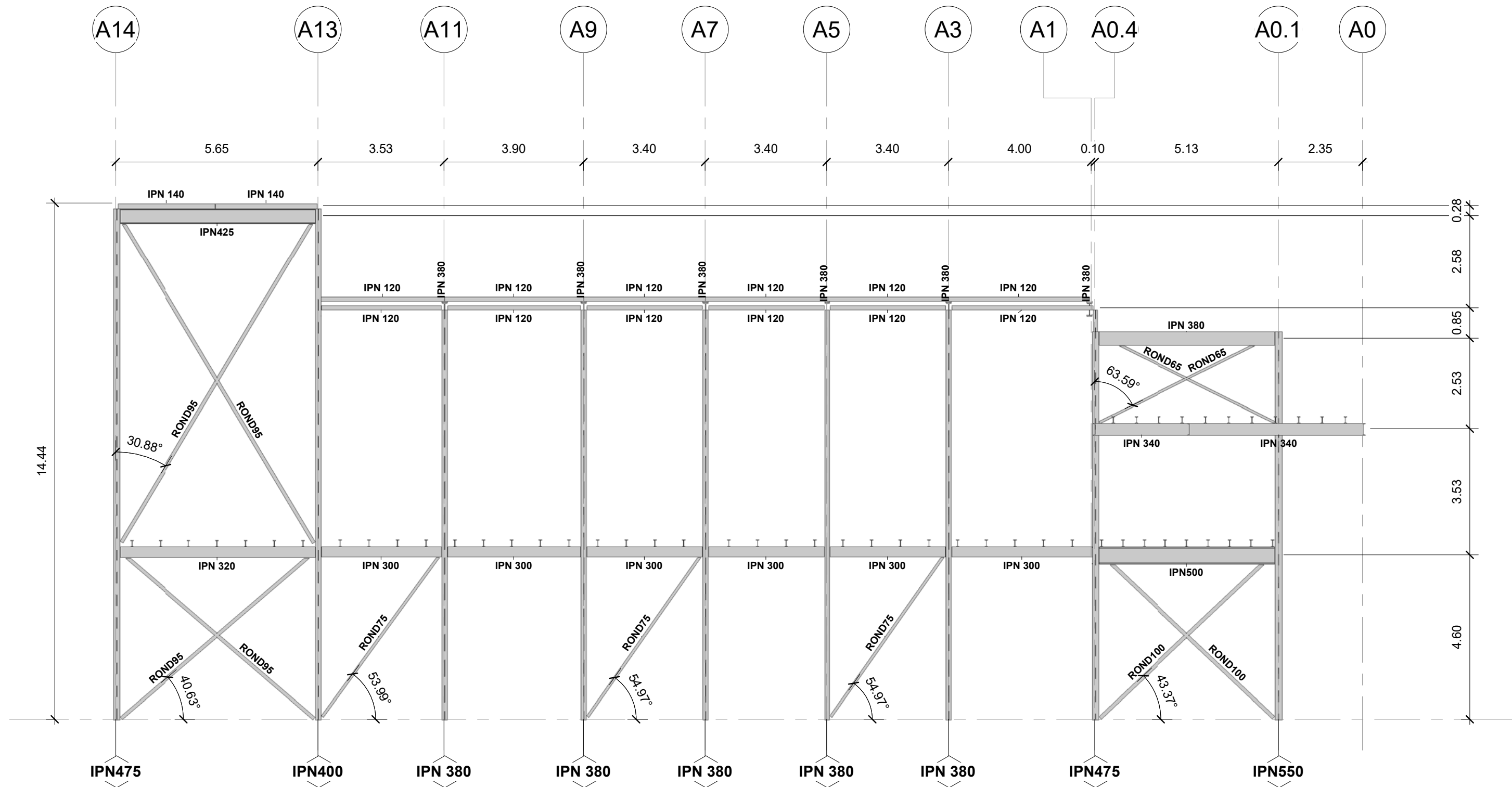
Titulación GITI

Curso 2020/2021

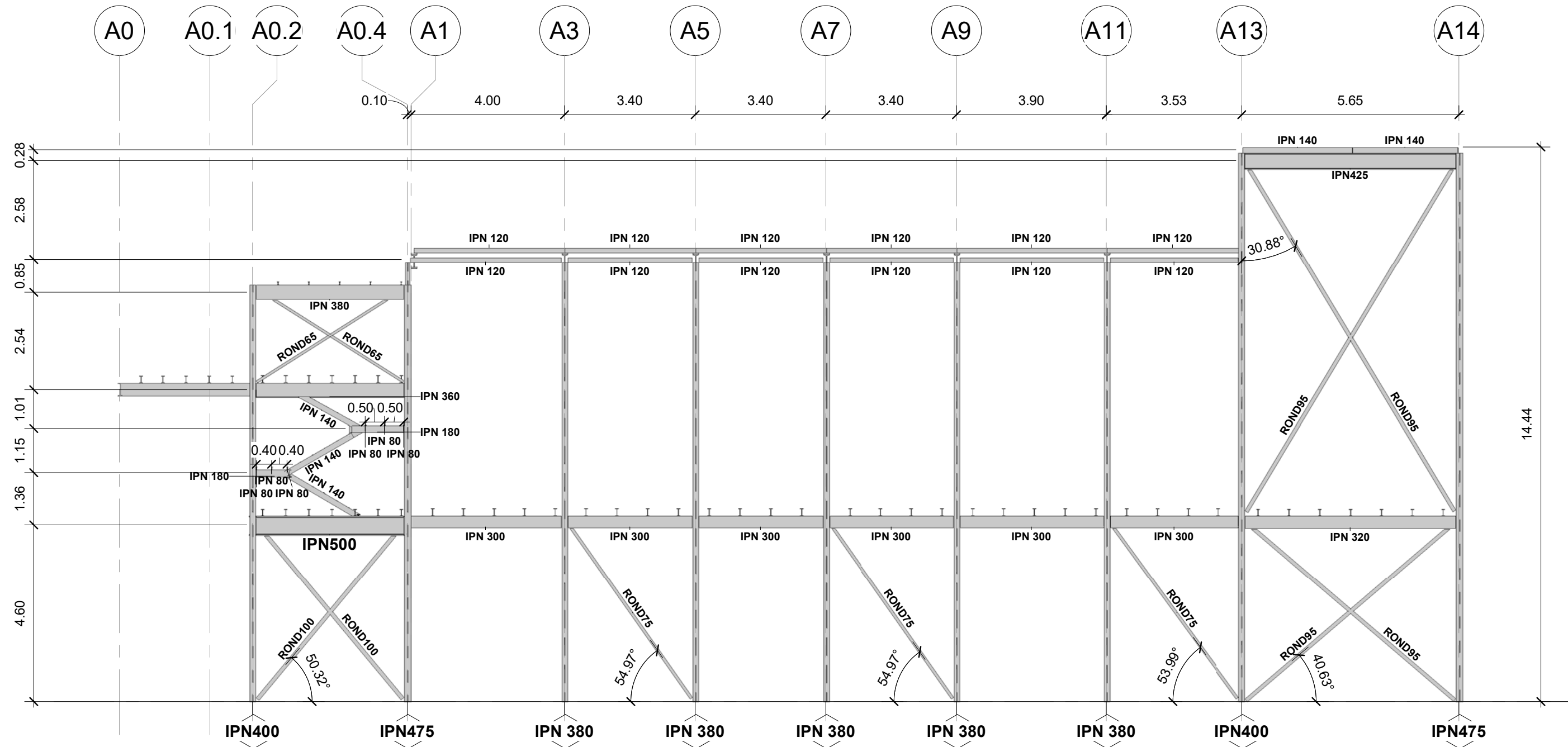
P-13

Escala 1 : 60

1	Alzado Norte
P-14	1 : 100



2	Alzado Sur
P-14	1 : 100



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

**Alzados Norte y
Sur**

Autor
Antonio Pineda Márquez

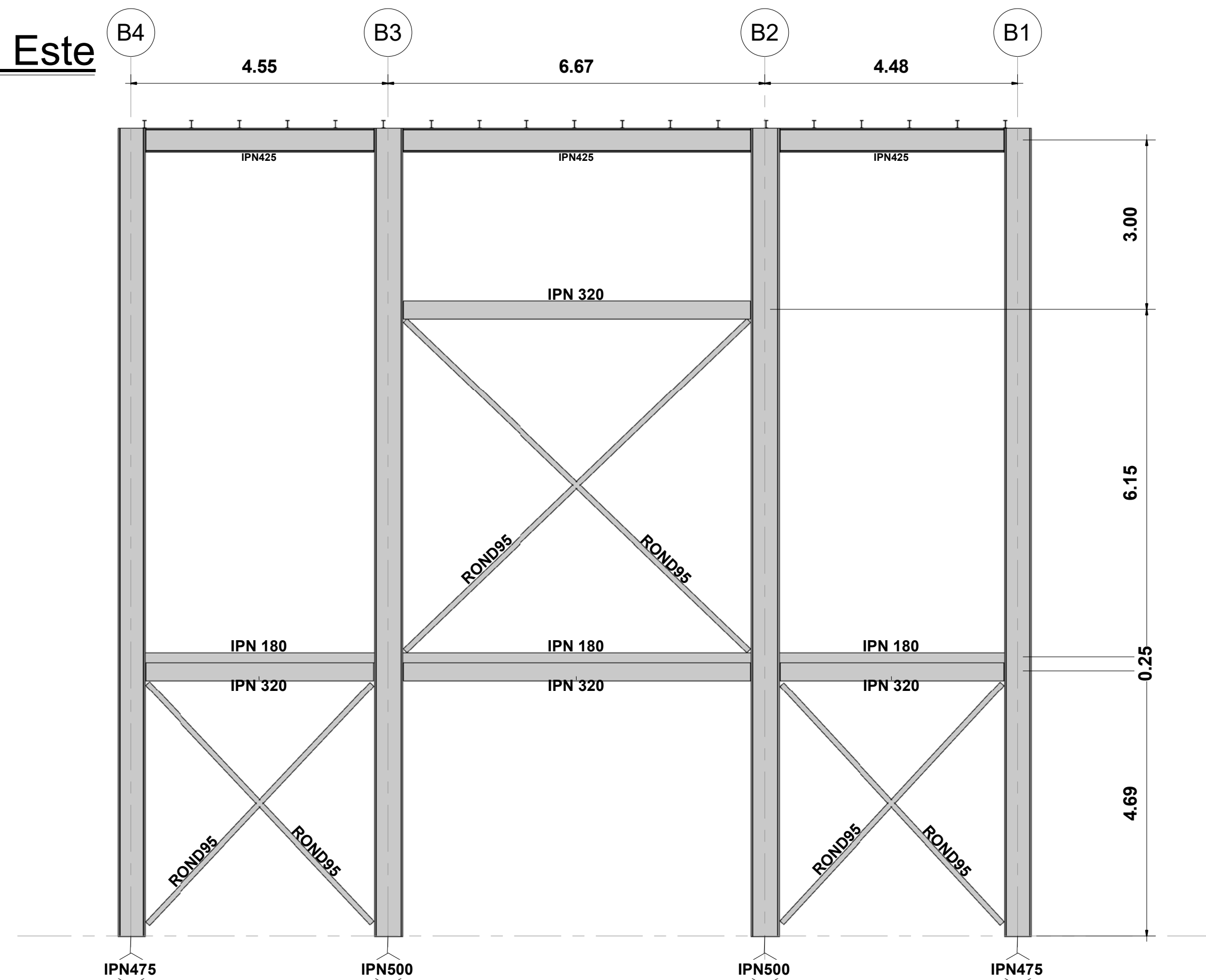
Titulación
GITI

Curso
2020/2021

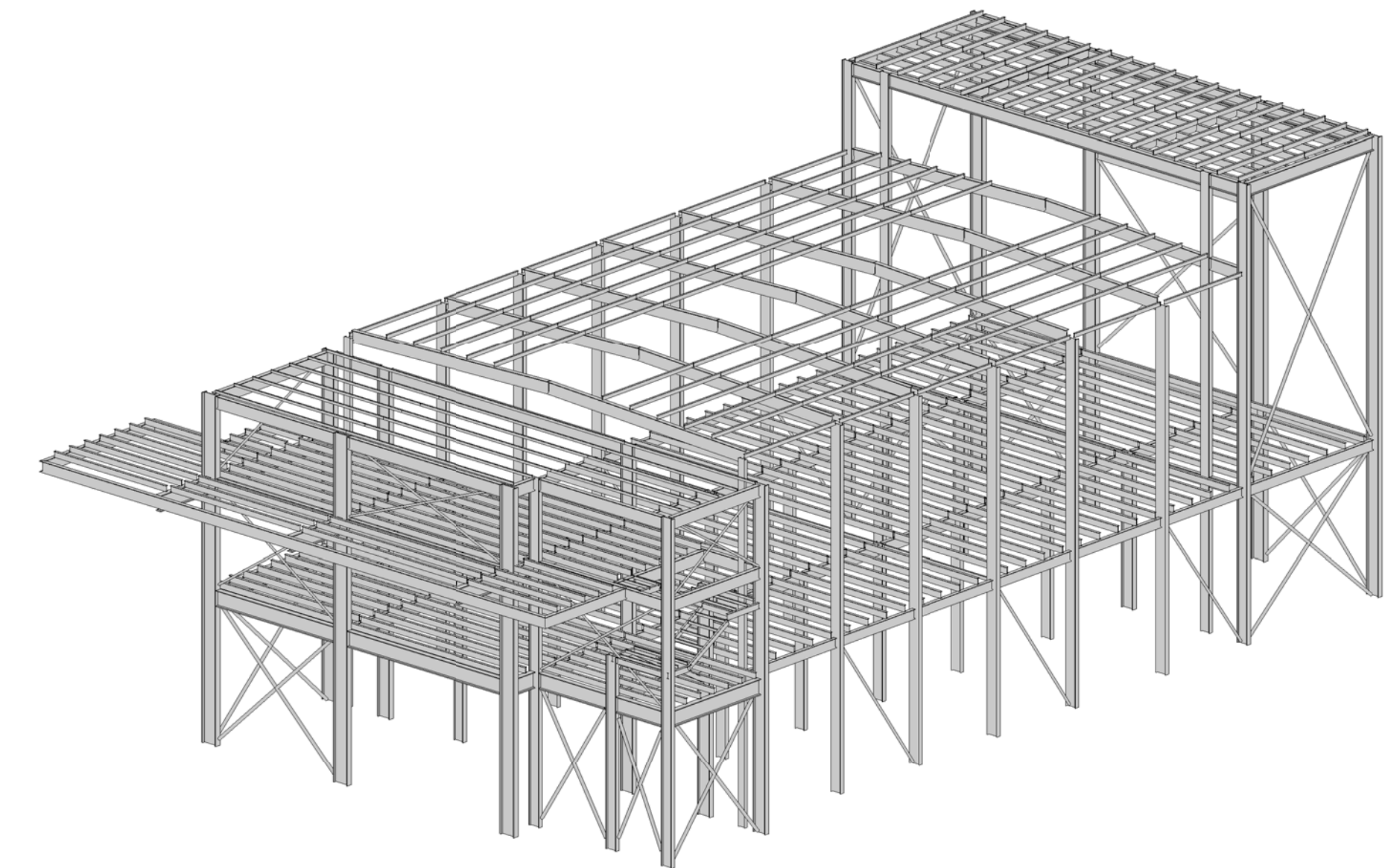
P-14

Escala
1 : 100

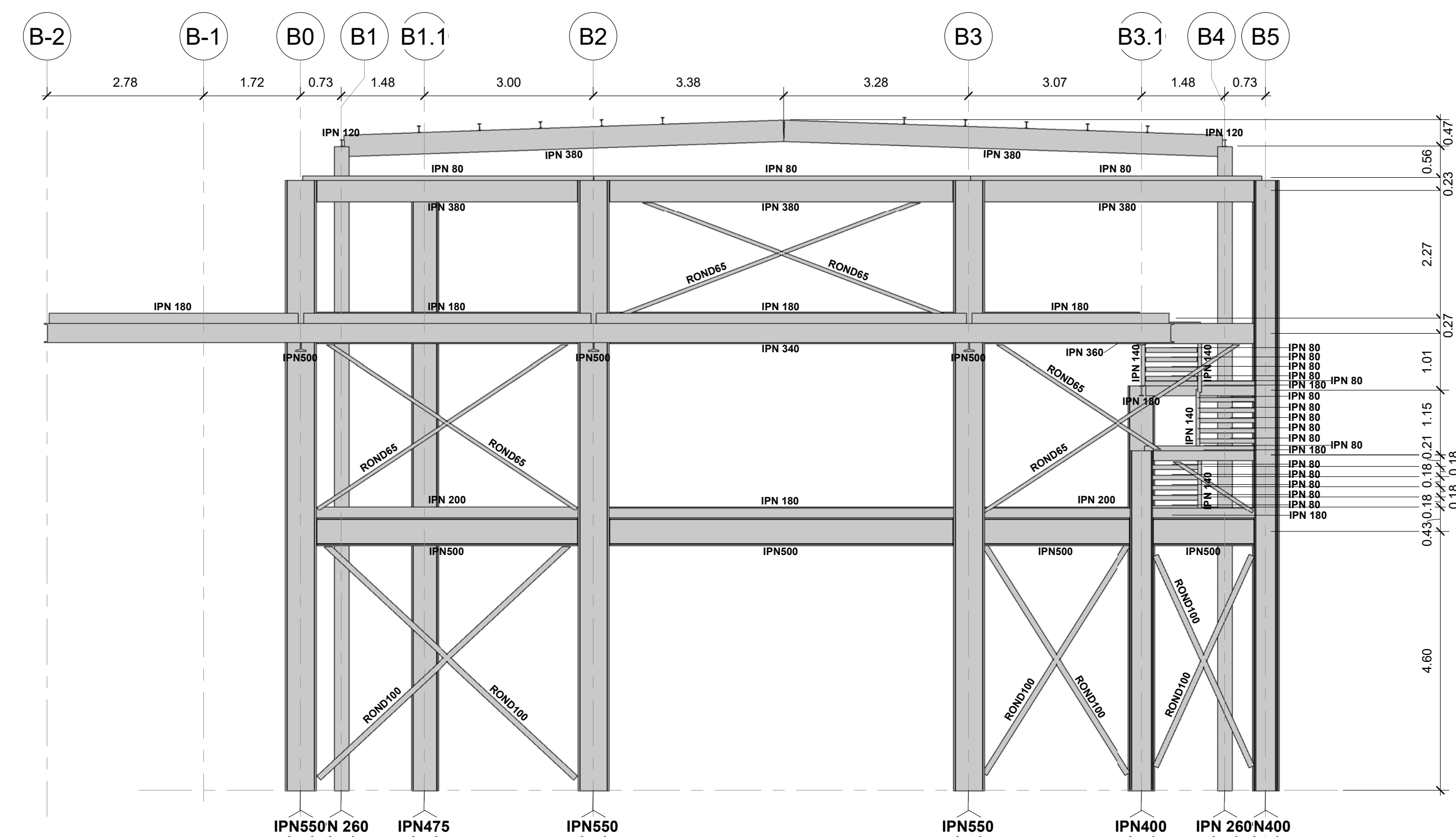
1 Alzado Este
P-15 1 : 65



3 3D Completa
P-15



2 Alzado Oeste
P-15 1 : 65



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la
estructura de una capilla
mediante metodología BIM

Alzados Este y Oeste

Autor
Antonio Pineda Márquez

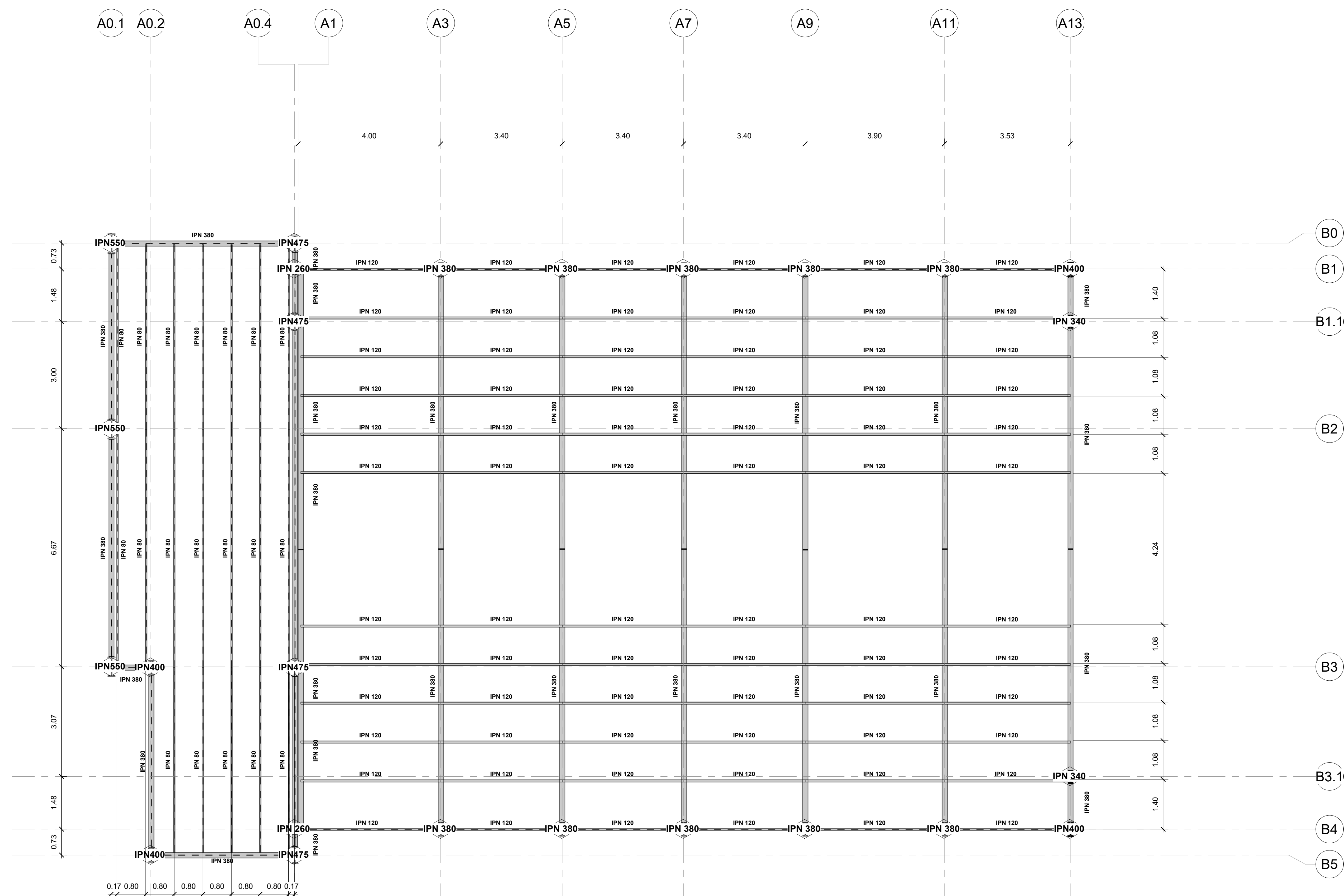
Titulación GITI

Curso 2020/2021

P-15

Escala 1 : 65

1	<u>Cubiertas Zona 1 y 2</u>
P-16	1 : 60



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capila mediante metodología BIM

Cubiertas Zonas
2 y 3

Autor
Antonio Pineda Márquez

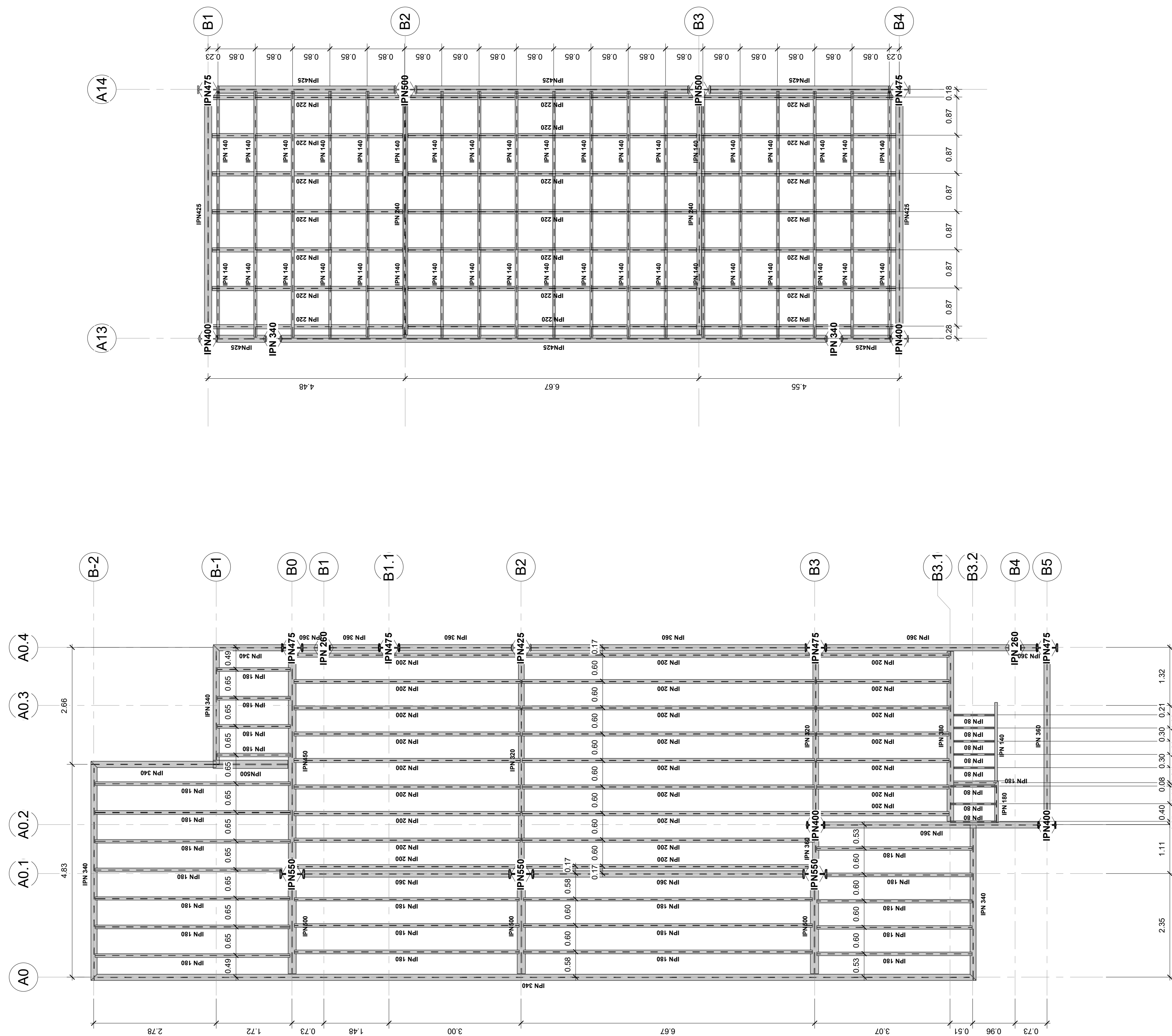
Titulación	GITI
------------	------

Curso	2020/2021
-------	-----------

P-16

Escala	1 : 60
--------	--------

1	<u>Cubierta Altar</u>
P-17	1 : 50



Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Cubierta Zona 1
y Planta Coro

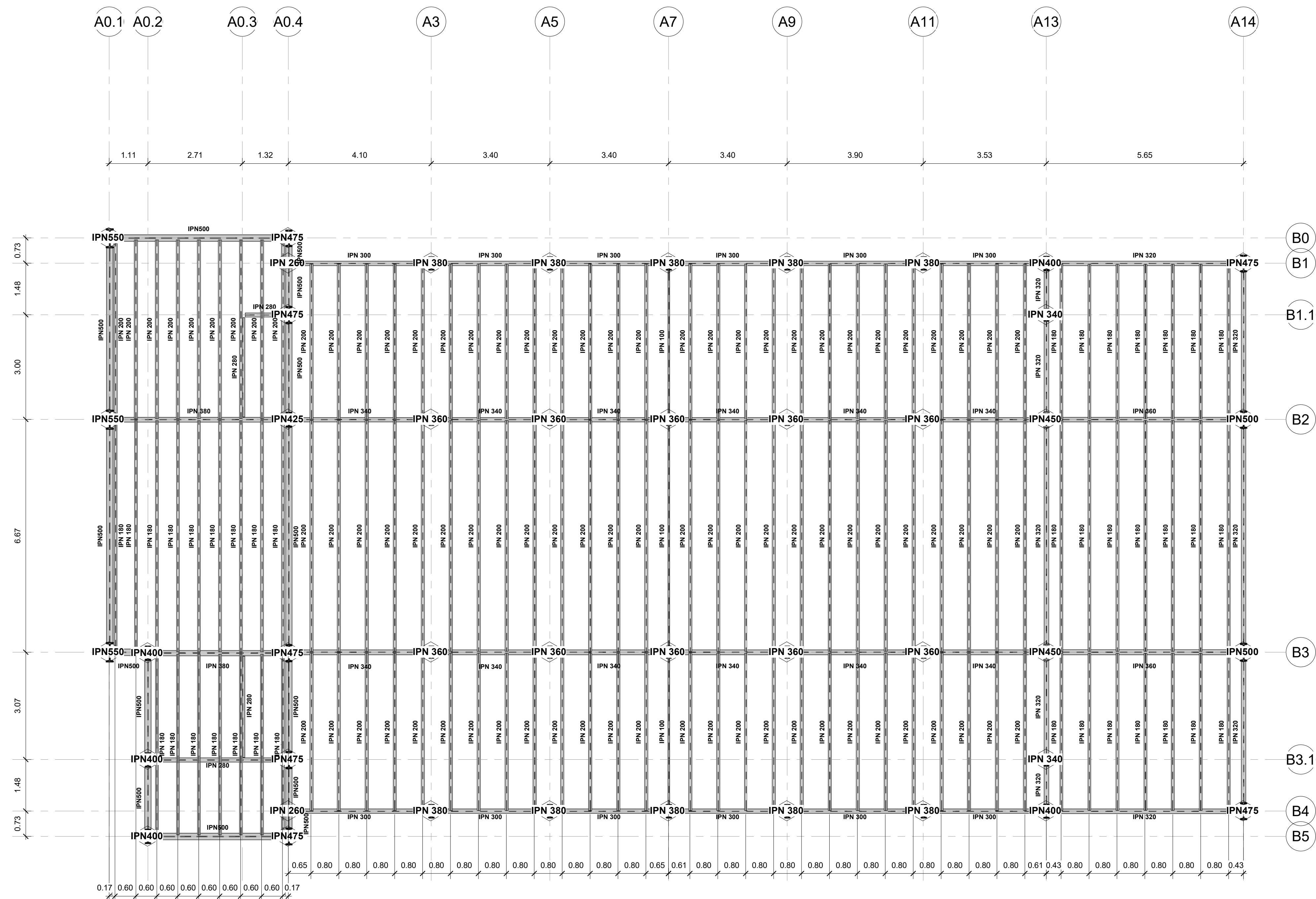
Autor
Antonio Pineda Márquez


Titulación	GIT
------------	-----

Curso	2020/2021
-------	-----------

P-17

Escala	1 : 50
--------	--------





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Planta Acceso

Autor

Antonio Pineda Márquez

Titulación

GITI

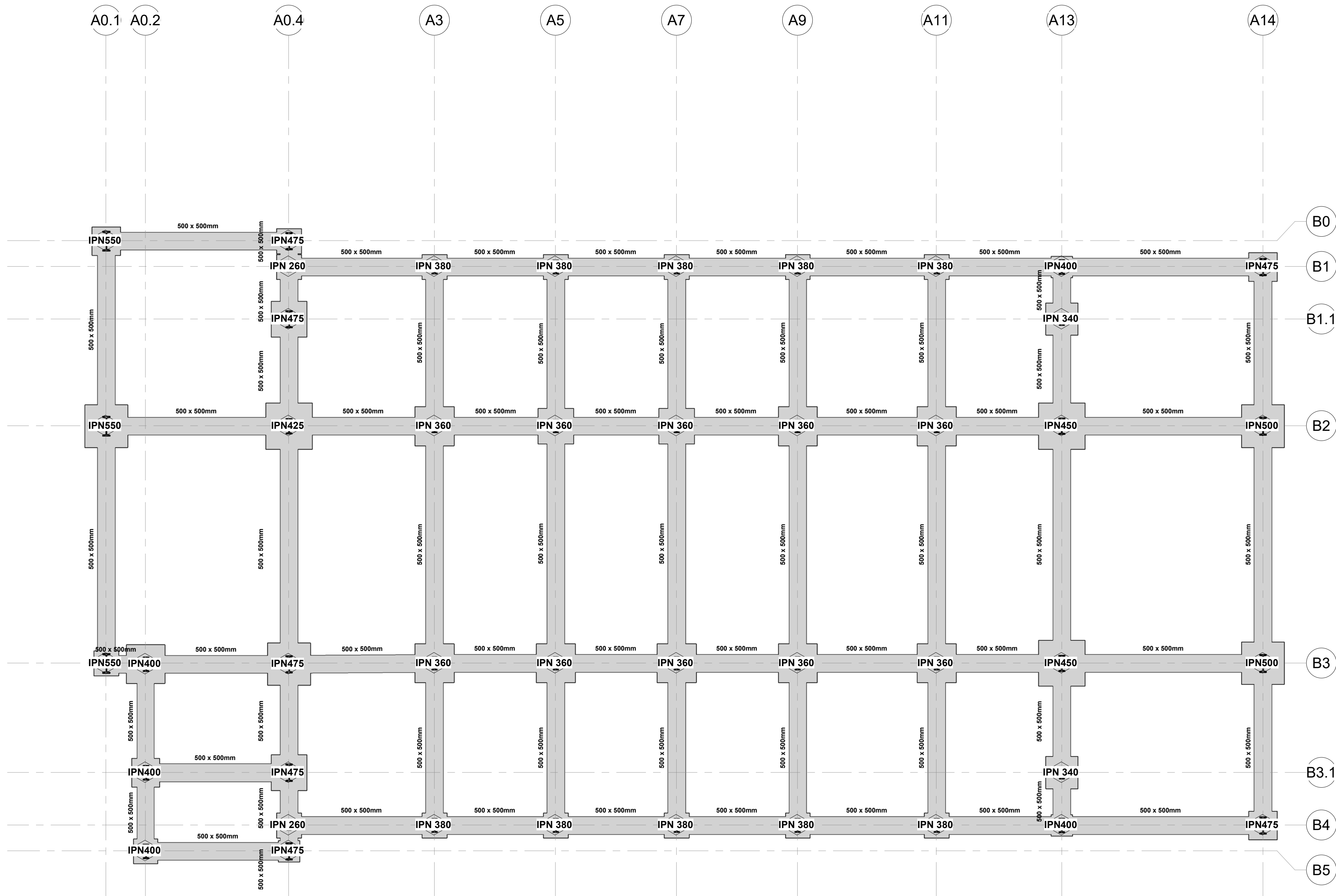
Curso

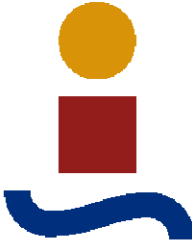

2020/2021

P-18

Escala

1 : 65





Trabajo de Fin de Grado

Diseño y cálculo de la estructura de una capilla mediante metodología BIM

Cimentación

Autor

Antonio Pineda Márquez

Titulación

GITI

Curso

2020/2021

P-19

Escala

1 : 65